

# 特許協力条約

PCT

特許性に関する国際予備報告（特許協力条約第二章）

（法第 12 条、法施行規則第 56 条）  
〔PCT36 条及び PCT 規則 70〕

REC'D 01 SEP 2005

WIPO

PCT

出願人又は代理人 の書類記号 KUSAN016F024	今後の手続きについては、様式 PCT/ IPEA/ 416 を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JP2004/010228	国際出願日 (日. 月. 年) 16. 07. 2004	優先日 (日. 月. 年) 16. 07. 2003
国際特許分類 (IPC) Int.Cl. <sup>7</sup> H04J13/04, 14/00, 14/04, 14/06		
出願人 (氏名又は名称) 日本電信電話株式会社		

- この報告書は、PCT35 条に基づきこの国際予備審査機関で作成された国際予備審査報告である。  
法施行規則第 57 条 (PCT36 条) の規定に従い送付する。
- この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 3 ページからなる。
- この報告には次の附属物件も添付されている。
  - ☒ 附属書類は全部で 106 ページである。
    - ☒ 補正されて、この報告の基礎とされた及び／又はこの国際予備審査機関が認めた訂正を含む明細書、請求の範囲及び／又は図面の用紙 (PCT 規則 70.16 及び実施細則第 607 号参照)
    - ☐ 第 I 欄 4. 及び補充欄に示したように、出願時における国際出願の開示の範囲を超えた補正を含むものとこの国際予備審査機関が認定した差替え用紙
  - ☐ 電子媒体は全部で \_\_\_\_\_ (電子媒体の種類、数を示す)。  
配列表に関する補充欄に示すように、コンピュータ読み取り可能な形式による配列表又は配列表に関連するテーブルを含む。 (実施細則第 802 号参照)

4. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

- ☒ 第 I 欄 国際予備審査報告の基礎
- ☐ 第 II 欄 優先権
- ☒ 第 III 欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成
- ☐ 第 IV 欄 発明の単一性の欠如
- ☐ 第 V 欄 PCT35 条 (2) に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
- ☐ 第 VI 欄 ある種の引用文献
- ☐ 第 VII 欄 国際出願の不備
- ☐ 第 VIII 欄 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 16. 05. 2005	国際予備審査報告を作成した日 15. 08. 2005	
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号	特許庁審査官 (権限のある職員) 前田 典之 電話番号 03-3581-1101 内線 3536	5 J 9073

様式 PCT/ IPEA/ 409 (表紙) (2004 年 1 月)

## 第 I 欄 報告の基礎

1. この国際予備審査報告は、下記に示す場合を除くほか、国際出願の言語を基礎とした。

☐ この報告は、\_\_\_\_\_ 語による翻訳文を基礎とした。  
それは、次の目的で提出された翻訳文の言語である。

- ☐ PCT 規則 12.3 及び 23.1(b) にいう国際調査  
☐ PCT 規則 12.4 にいう国際公開  
☐ PCT 規則 55.2 又は 55.3 にいう国際予備審査

2. この報告は下記の出願書類を基礎とした。(法第 6 条 (PCT 14 条) の規定に基づき命令に応答するために提出された差替え用紙は、この報告において「出願時」とし、この報告に添付していない。)

☒ 出願時の国際出願書類

☒ 明細書

第 1, 2, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80 ページ、出願時に提出されたもの

第 1, 3-16, 18-22, 26, 27, 30-35, 38, 40, 41, 43-45, 47 ページ\*、16.05.2005 付けで国際予備審査機関が受理したもの

第 48, 50-52, 54, 55-61, 64-69, 71, 73, 77-79, 81 ページ\*、16.05.2005 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☒ 請求の範囲

第 11, 28, 29, 33, 35-37 項、出願時に提出されたもの

第 \_\_\_\_\_ 項\*、PCT 19 条の規定に基づき補正されたもの

第 1-10, 12-20, 22-27, 30-32, 34, 38-53 項\*、16.05.2005 付けで国際予備審査機関が受理したもの

第 \_\_\_\_\_ 項\*、\_\_\_\_\_ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☒ 図面

第 1-12, 14-17, 21-26, 28-61 ページ/図、出願時に提出されたもの

第 13, 18-20, 27, 62 ページ/図\*、16.05.2005 付けで国際予備審査機関が受理したもの

第 \_\_\_\_\_ ページ/図\*、\_\_\_\_\_ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☐ 配列表又は関連するテーブル

配列表に関する補充欄を参照すること。

3. ☒ 補正により、下記の書類が削除された。

☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ

☒ 請求の範囲 第 21 項

☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図

☐ 配列表 (具体的に記載すること) \_\_\_\_\_

☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること) \_\_\_\_\_

4. ☐ この報告は、補充欄に示したように、この報告に添付されかつ以下に示した補正が出願時における開示の範囲を超えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT 規則 70.2(c))

☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ

☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項

☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図

☐ 配列表 (具体的に記載すること) \_\_\_\_\_

☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること) \_\_\_\_\_

\* 4. に該当する場合、その用紙に "superseded" と記入されることがある。

## 第Ⅲ欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解の不作成

次に関して、当該請求の範囲に記載されている発明の新規性、進歩性又は産業上の利用可能性につき、次の理由により審査しない。

☐ 国際出願全体

☒ 請求の範囲 1-53

理由:

☒ この国際出願又は請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、国際予備審査をすることを要しない  
次の事項を内容としている（具体的に記載すること）。

☒ 明細書、請求の範囲若しくは図面（次に示す部分）又は請求の範囲 1-53 の  
記載が、不明確であるため、見解を示すことができない（具体的に記載すること）。

1. 明細書には、送信側のろ波手段で実現する関数が数学的に示されているのみであって、送信側及び受信側の濾波手段の具体的な構成が十分に記載されていない。
2. 明細書には、関数  $C_i$  と反転関数の発生手段の構成が十分に記載されていない。
3. 関数  $C_i$  と反転関数の満たす条件をどのような手段で実現しているのか不明確である。

☐ 全部の請求の範囲又は請求の範囲 \_\_\_\_\_ が、明細書による十分な裏付けを欠くため、見解を示すことができない。

☒ 請求の範囲 1-39 について、国際調査報告が作成されていない。

☐ ヌクレオチド又はアミノ酸の配列表が、実施細則の附属書C（塩基配列又はアミノ酸配列を含む明細書等の作成のためのガイドライン）に定める基準を、次の点で満たしていない。

書面による配列表が

- ☐ 提出されていない。  
☐ 所定の基準を満たしていない。

コンピュータ読み取り可能な形式による配列表が

- ☐ 提出されていない。  
☐ 所定の基準を満たしていない。

☐ コンピュータ読み取り可能な形式によるヌクレオチド又はアミノ酸の配列表に関連するテーブルが、実施細則の附属書Cの2に定める技術的な要件を、次の点で満たしていない。

- ☐ 提出されていない。  
☐ 所定の技術的な要件を満たしていない。

☐ 詳細については補充欄を参照すること。

明 細 書

光周波数符号を用いる光通信システム、その光送信装置及び光受信装置、反射型光通信装置

技術分野

- 5 [0001] この発明は複数のデータ系列を異なる光符号により分離できるように多重化する光符号多重 (OCDM, Optical Code Division Multiplex) や、4 相位相変調 (QPSK, QUADRATURE Phase Shift Keying) あるいは直交振幅変調 (QAM, Quadrature Amplitude Modulation) 技術を光通信に適用した光通信システムとそのシステムに使用される光送信装置及び光受信装置、反射型光通信装置に関する。

10 [背景技術]

- [0002] 複数の収容局を光ファイバを介して中央局に収容する 1 対多接続網 P O N (Passive Optical Network) において、各収容局に互いに直交関係にある擬似ランダム拡散符号を割当て、各収容局では割当てられた拡散符号に応じ光信号を変調して送信し、これら光変調信号を中央局で多重化して更に遠方に送信することが提案されている。その各拡散符号により光周波数領域の光周波数符号化する従来技術を以下に説明する。
- 15

- 図 1 にその光符号多重光通信システムにおける 1 チャネルについて構成と光周波数符号化 (波長符号化) を模式的に示す。送信側では光源 10 からの波長が広帯域な光信号 20 が符号器 11 に入射され、その入射光信号は符号器 11 の選択波長 31 の波長成分のみが通過波長光 21 として切り出されて波長符号化される。この符号化された通過波長光 21 は光ファイバ 13 を通じて受信側の復号器 12 へ伝送される。通過波長光 21 は復号器 12 で対応する符号器 11 からの符号のみが復号器の選択波長 32 により通過波長光 22 として通過して復号される。
- 20

- [0003] 一方図 1 (c) に示すように、復号器 12 の復号符号と対応しない拡散符号の符号器からの通過波長光は、例えばその選択波長 31' により通過波長光 21' となり、この通過波長光は復号器 12 の選択波長 32 によっては符号中の全てのチップ (光周波数又は波長) は通過せず、通過するものがあったとしても一部のみであって、適正な光信号と
- 25



非特許文献1：大柴小枝子他著 2002年電子情報通信学会総合大会B-10-80  
「データレート拡張型時間拡散／波長ホップ光符号分割多重の実験検討」

非特許文献2：T.Pfeiffer 他著, Electronics Letters vol.33 No.25 pp 2441-  
2442, 1997, "High Speed optical network for asynchronous multiuser access  
5 applying periodic spectral coding of broadband sources"

非特許文献3：今井健之他著「反射型 SOA による WDN-PON システム用端末のインター  
オペラビリティ」2003年電子情報通信学会通信ソサエティ大会B-10-50

非特許文献4：成川聖他著「半導体光増幅器を用いた波長チャネルデータリライタの  
ファイバ伝送特性」2003年電子情報通信学会通信ソサエティ大会B-10-51

10 発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] 文献2や文献3に示す従来の技術は各データ系列に符号に相当する異なる周  
期で切り出した波長を割り当てる OCDM (Optical code division multiplex) である  
が、各データ系列 (チャネル) と対応する光符号には互いに直交性がないために、少  
15 ない周期を含む狭い光周波数幅での割当では互いに干渉を受け S/N (信号/雑音) が  
悪くなる。そこで例えば第1データ系列に割り当てる光の周波数差を  $\lambda_1$ 、基準となる  
光周波数波長を  $\lambda_0$  とすると、光周波数  $\lambda_0 \sim \lambda_0 + \lambda_1$  の1周期だけでなく、多数の周  
期を含む  $\lambda_0 \sim \lambda_0 + 2\lambda_1$ 、 $\lambda_0 \sim \lambda_0 + 3\lambda_1$ 、…と複数の周期を含む広い光周波数幅  
で第1データ系列に割当て、第2データ系列に光周波数  $\lambda_0 \sim \lambda_0 + \lambda_2$  の1周期だけで  
20 はなく、多数の周期を含む  $\lambda_0 \sim \lambda_0 + 2\lambda_2$ 、 $\lambda_0 \sim \lambda_0 + 3\lambda_2$ 、…と複数の周期を含む広  
い光周波数幅で割当て、第3データ系列に光周波数  $\lambda_0 \sim \lambda_0 + \lambda_3$  の1周期だけでは  
なく、多数の周期を含む  $\lambda_0 \sim \lambda_0 + 2\lambda_3$ 、 $\lambda_0 \sim \lambda_0 + 3\lambda_3$ 、…と複数の周期を含む広い  
光周波数幅で割当て、以下同様に割当てる。このようにして S/N を向上させている。  
[0007] このため、サイン関数の周期で切り出される波長数が少ない場合はチャネル  
25 光信号間干渉が無視できず、誤り率を劣化させることなく多くのデータ系列対応のチ  
ャネル光信号を多重することは困難である。従って、チャネル光信号間干渉を抑止す  
るためには、波長幅を無限大として近似するに十分な数の波長で多重するために、光  
源

の出射光の周波数を広帯域とする必要がある。広帯域光源を用いるために、伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題が発生し、高速伝送ができない問題がある。また広い周波数幅の光を必要とするため、波長分散の影響で、送受信間の距離が長い場合は信号対雑音比が劣化する問題があった。更に、周期のみでチャンネルを分離しているため、光源の出射光の周波数幅と、ろ波器で選択できる光周波数に限りがあり、最大のチャンネル数が増やせない問題があった。

[0008] また従来の無線通信方法で実用化されている 4 相位相変調技術を光通信に適用し光周波数信号の光位相を変調信号（データ）に応じて制御しようとする、 $\mu$ メートルオーダーの光波長と比べて十分正確なオーダーである数十分の 1 の数十ナノメートルオーダーの精度で光の位相を制御することを実用化することは現在の所困難である。

また非特許文献 3 に示す光波長多重 PON では収容局で中央局へデータを送信するために用いる光信号を、無変調の連続光として中央局から収容局へ送信している。従ってこの無変調連続光は中央局から収容局への伝送においては情報伝送に活用されていなく、それだけ情報伝送効率が悪いものとなる。非特許文献 4 に示す装置では、無変調連続光を中央局から送信しない点で情報伝送効率は非特許文献 3 に示す装置よりよいが、中央局で送信する下り光信号の消光比を悪くし、この消光比が悪い下り光信号を収容局で上り光信号として情報伝送に利用可能としている。このため、下り光信号の消光比が悪く、通信品質が劣化する。

課題を解決するための手段

[0009] この発明は第 1 面～第 3 面があるが、いずれも  $i$  番目符号の関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1-C_i(f))$  を用い、これらは以下の条件を満たす。

関数  $C_i(f)$  は  $C_i(f)=C_i(f+PFR_i)$  が成立する周期関数であり、関数  $C_i(f)$  の関数値が 0 から 1 の値をとり、

光周波数幅 FSR は所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において、各符号の関数の繰り返し周期の公倍数である符号長  $FCL$  の自然数倍の光周波数幅であり、

関数  $C_i(f)$  の反転関数は、1 からこの関数  $C_i(f)$  を減じた関数  $(1-C_i(f))$  であり、関数  $C_i(f)$  と関数  $(1-C_i(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$  の関係が成立し、

$\int df$  は  $F_{st}$  から  $F_{1a}$  までの任意の区間  $FSR$  における  $f$  に関する定積分であり、

関数  $C_i(f)$  と  $i$  番目符号以外の任意の  $j$  番目符号の関数  $C_j(f)$  及びこの関数  $C_j(f)$  の反転関数  $(1-C_j(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1-C_j(f)) df$  の関係が成立する。

- 5 [0010] この発明の第1面によれば光符号通信に適用され、送信側では2値データ系列の各データごとに、その値に応じた  $i$  番目符号の関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1-C_i(f))$  の少なくとも一方を、光強度周波数特性とした光符号信号を、少なくとも関数同士が直交する周期  $FSR$  分生成送信し、

- 10 受信側では受信した光信号から、関数  $C_i(f)$  に基づき光強度周波数特性が  $C_i(f)$  の光信号の光強度と対応する第1強度信号と、

受信光信号から、反転関数  $(1-C_i(f))$  に基づき、光強度周波数特性が  $(1-C_i(f))$  の光信号の光強度と対応する第2強度信号との差と対応した第1差信号からデータ系列を再生する。

- 15 [0011] この発明の第2面によれば擬似的に例えば直交位相変調を行うもので、光周波数幅  $FSR$  以下の任意の光周波数幅を、関数  $C_i(f)$  の繰り返し周期  $PFR_i$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、位相  $2\pi (\Delta f/PFR_i)$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、

上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f+\Delta f)$  での  $i$  番目符号の関数  $C_i(f+\Delta f)$  と等しい関数を  $C_i'(f) = C_i(f+\Delta f)$  とし、

- 20 関数  $C_i'(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1-C_j'(f))$  との間に  $\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) (1-C_j'(f)) df$  の関係が成立し、

送信側では2値データ系列を複数の分離データ系列に分離し、その分離データ系列ごとの、互いに異なる符号の関数についてデータごとにその値に応じたその関数及びその反転関数の少なくとも一方を光強度周波数特性とした光信号とし、これら光信号を合成して光符号信号として送信し、

- 25 受信側では上記各分離データ系列と対応する関数及びその反転関数に基づき、これら各関数をそれぞれ光強度周波数特性とする光信号の光強度差をそれぞれ求め、それぞれ分離データ系列を再生する。

[0012] この発明の第3面によれば反射型光通信に適用され、少なくとも光周波数幅  $FSR$

の光周波数帯で光強度周波数特性が関数  $C_j(f)$  又は反転関数  $(1 - C_j(f))$  の受信光信号が入力され、その受信信号はる波光周波数特性が関数  $C_i(f)$  の符号器に入力されて光信号が出力され、る波光周波数特性が反転関数  $(1 - C_i(f))$  の反転符号器にも受信光信号が入力されて反転光信号が出力され、

- 5 入力2値データ系列の各データごとにその値に応じて光信号と反転光信号を選択合波して光符号信号として送信される。

#### 発明の効果

- [0013] この発明の第1面の構成によれば関数  $C_i(f)$  が連続して繰り返され、 $F_{st} \sim F_{la}$  内の周波数範囲であれば任意の位置での光周波数幅  $F_{SR}$  分の光符号信号を送信すればよく、従って光送信装置の光源や符号器、光受信装置の復号器などの光周波数がドリフトしても受信側から送信光周波数を通知し、送信側で光周波数を調整する必要がない。しかも複数のデータ系列に対し、光符号信号の光強度周波数特性  $C_i(f)$  を互いに直交させたものを用いることにより多くの光符号信号を光符号多重化することができ、その場合、いずれの光符号信号の光周波数幅は  $F_{SR}$  と同一値であればよく、光周波数幅を特に広くする必要はない。

[0014] この発明の第2面の構成によれば分離データ系列のデータごとに光強度周波数特性の関数を制御するものであるから、光周波数信号の光位相を変調する場合と比較して、変調する制御精度は著しく粗いものでよく、容易に実現することができる。

- この発明の第3面の構成によれば上り光信号として送り返すための無変調下り光信号を送る必要がなく、しかも下り光信号と上り光信号の両光強度周波数特性関数が互いに直交化しているため下りデータがマークの場合もスペースの場合も、同一の光強度のマークあるいはスペースの上り光信号を出力することができ、下り光信号の消光比を悪くすることなく、通信品質を劣化するおそれがない。

#### 図面の簡単な説明

- [0015] [図1] 図1(a)は従来の光符号多重化方法のシステム構成を、図1(b)及び図1(c)はそれぞれ光源光波長、符号器の選択光波長、その透過光、復号器の選択光波長、その透過光の例を示す図である。

[図2] この発明の第1実施形態が適用される多重通信システム構成例を示し、図2(a)

はその光送信装置、図 2 (b) は光受信装置をそれぞれ示す図である。

[図 3] この発明の第 1 実施形態が適用される他の多重通信システム構成例を示し、  
図 3 (a) は光送信装置、図 3 (b) は光受信装置をそれぞれ示す図である。

[図 4] この発明の第 1 実施形態が適用される通信システム構成例を示す図。

- 5 [図 5] 図 5 (a) は光源周波数のドリフトを、図 5 (b) は符号化光周波数領域を、  
図 5 (c) は復号化光周波数領域の例を示す図である。

[図 6] 図 6 (a)、図 6 (b)、図 6 (c) はそれぞれ実施例 1 における拡散符号の  
例を示す図である。

[図 7] 実施例 1 - 2 の符号器の構成例を示す図。

- 10 [図 8] 実施例 1 - 2 の復号器の構成例を示す図。

[図 9] 実施例 1 - 2 の符号器／復号器のろ波器の構成例を示す図。

[図 10] 図 10 (a) は 1 次のアダマール行列を示す図、図 10 (b) は 2 次のア  
ダマール行列を示す図、図 10 (c) はアダマール行列の漸化式を示す図である。

- 15 [図 11] 図 11 (a) 及び図 11 (b) は実施例 1 - 3 に用いる 2 次のアダマール  
行列に対応する符号化符号 (連結符号) の例を示す図である。

[図 12] 実施例 1 - 3 の復号器の構成例を示す図。

- 20 [図 13] 実施例 1 - 3 において図 13 (a) は光源周波数ドリフトが生じない場合、  
図 13 (b) 及び図 13 (c) はそれぞれ光源周波数ドリフトが生じた場合の光源光  
周波数、符号化光周波数領域、符号化光信号、復号化光周波数領域、復号ろ波光信号  
の例をそれぞれ示す図である。

[図 14] 実施例 1 - 3 の符号器／復号器のろ波器の構成例を示す図。

[図 15] 実施例 1 - 3 の復号器の他の構成例を示す図。

[図 16] 実施例 1 - 3 の符号器／復号器のろ波器の他の構成例を示す図。

[図 17] 実施例 1 - 3 の符号器／復号器のろ波器の更に他の構成例を示す図。

- 25 [図 18] 実施例 1 - 3 の符号器／復号器のろ波器に用いる可変遅延線の例を示す図。

[図 19] 実施例 1 - 3 の符号器／復号器のろ波器に用いる可変遅延線の他の例を示  
す図。

[図 20] 実施例 1 - 3 における図 20 (a) は符号化光周波数領域のドリフト無し  
の場合、図 2

0 (b) 及び (c) はドリフト有りの場合の各光源光周波数、符号化光周波数領域、符号化光信号、復号化光周波数領域、復号化信号の関係例を示す図である。

[図 2 1] 実施例 1 - 3 の符号器／復号器のろ波器の更に他の構成例を示す図。

[図 2 2] 実施例 1 - 3 の符号器の他の構成例を示す図。

5 [図 2 3] 実施例 1 - 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。

[図 2 4] 実施例 1 - 3 の符号器の更に他の構成例を示す図。

[図 2 5] 実施例 1 - 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。

[図 2 6] 実施例 1 - 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。

[図 2 7] 実施例 1 - 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。

10 [図 2 8] 実施形態 1 の符号器及び復号器の組み合わせ構成例を示す図。

[図 2 9] 第 1 実施形態を適用することができる通信システム構成例を示す図。

[図 3 0] この発明の第 2 実施形態における実施例 2 - 1 を適用した通信システムの構成例を示す図。

[図 3 1] 2 個のデータと対応する位相と、三角関数の擬似搬送波との関係例を示し、

15 [図 3 1 (a) は位相 0、図 3 1 (b) は位相  $\pi/2$ 、図 3 1 (c) は位相  $\pi$ 、図 3 1 (d) は位相  $3\pi/2$  の場合の図である。

[図 3 2 - 1] 実施例 2 - 1 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との 0 相変調出力の場合の関係例を示す図。

20 [図 3 2 - 2] 実施例 2 - 1 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との  $\pi/2$  相変調出力の場合の例を示す図。

[図 3 2 - 3] 実施例 2 - 1 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との  $\pi$  相変調出力の場合の例を示す図。

[図 3 2 - 4] 実施例 2 - 1 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との  $3\pi/2$  相変調出力の場合の例を示す図。

25 [図 3 3] 図 3 0 中の位相変調部 1 3 0 の構成例を示す図。

[図 3 4] 実施例 2 - 2 における光送信装置の構成例を示す図。

[図 3 5] 図 3 5 (a) は実施例 2 - 3 における光送信装置の構成例を示す図、図 3 5 (b) は図 3 5 (a) 中の変調器 1 3 2 の変形例を示す図である。

[図 3 6] 図 3 6 (a) は Q P S K における座標上の信号点を示す図、図 3 6 (b)

はデータ組と座標点と選択ろ波位相との関係を示す図である。

〔図 3 7 - 1〕 実施例 2 - 4 を適用した通信システムにおける光送信装置の構成例を示す



図。

〔図 3 7 - 2〕 実施例 2 - 4 の光受信装置の構成例を示す図。

〔図 3 8〕 図 3 8 (a) は QAM における座標上の信号点を示す図、図 3 8 (b) はデータ組と、選択位相及び強度と、比較器 2 4 1 及び 2 4 2 の各出力との関係を示す図。

〔図 3 9〕 実施例 2 - 4 における光送信装置の他の構成例を示す図。

〔図 4 0〕 実施例 2 - 5 を適用した通信システムの構成例を示す図。

〔図 4 1〕 図 4 1 は実施例 2 - 5 におけるろ波特性の例を示し、図 4 1 (a)、図 4 1 (b)、図 4 1 (c)、図 4 1 (d) はそれぞれ位相 0、位相  $\pi/2$ 、位相  $\pi$ 、位相  $3\pi/2$  の各場合の図である。

〔図 4 2 - 1〕 実施例 2 - 5 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との 0 相変調出力の場合の関係例を示す図。

〔図 4 2 - 2〕 実施例 2 - 5 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との  $\pi/2$  相変調出力の場合の例を示す図。

〔図 4 2 - 3〕 実施例 2 - 5 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との  $\pi$  相変調出力の場合の例を示す図。

〔図 4 2 - 4〕 実施例 2 - 5 における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との  $3\pi/2$  相変調出力の場合の例を示す図。

〔図 4 3〕 図 4 3 (a) に実施例 2 - 5 におけるチップ数  $L=24$ 、 $P=4$ 、 $n=1$ 、 $S=6$  の場合の光周波数特性関数の例を示す図、図 4 3 (b) は図 4 3 (a) の例に対し  $S=3$  とした場合の例を示す図である。

〔図 4 4〕 実施例 2 - 5 におけるチップ数  $L$  と、位相シフト量  $P$  と、約数  $S$  と、 $Q$  と  $n$  との関係例を示し、図 44(a) は  $P=0$ 、図 44(b) は  $P=1$ 、図 44(c) は  $P=2$  の各々の図である。

〔図 4 5〕 実施例 2 - 8 の光送信装置の構成例を示す図。

〔図 4 6〕 図 4 5 中の各  $S$  チップ光源の光チップの例を示す図。

〔図 4 7〕 実施例 2 - 9 を適用した通信システムの構成例を示す図。

〔図 4 8 - 1〕 実施例 2 - 11 を適用した通信システムにおける光送信装置の構成例を示す図。

9/1

[図48-2] 実施例2-11の光受信装置の構成例を示す図。

[図49] この発明の第3実施形態における反射型光通信装置の実施例を示す機能構成図。

〔図 5 0〕 図 5 0 (a) 及び図 5 0 (b) はこの第 3 実施形態における光周波数特性をチップ関数とした例を示す図。

〔図 5 1〕 図 4 9 中の符号器 4 4 0 M 及び 4 4 0 S としてチップ関数をもつ構成例を示す図。

5 〔図 5 2〕 この第 3 実施形態の装置の他の実施例を示す機能構成図。

〔図 5 3〕 この第 3 実施形態の装置で送信回路及び受信回路を並設した例を示す機能構成図。

〔図 5 4〕 第 3 実施形態においてチップ関数の例を示す図。

〔図 5 5〕 第 3 実施形態の反射型光通信装置と対向する光通信装置の例を示す機能構成図。  
10

〔図 5 6〕 第 3 実施形態で三角関数ろ波特性をもつ送信回路と受信回路を並設した例を示す機能構成図。

〔図 5 7〕 図 5 3 中の光合成器の他の例を示す機能構成図。

〔図 5 8〕 第 3 実施形態で送信回路と受信回路を並設する他の例を示す機能構成図。

15 〔図 5 9〕 実施例 3-5 における送信回路の後に受信回路を縦続した例を示す機能構成図。

〔図 6 0〕 実施例 3-4 における送信回路の後に受信回路を縦続した他の例を示す機能構成図。

〔図 6 1〕 実施例 3-5 における受信回路の後に送信回路を縦続した例を示す機能構成図。  
20

〔図 6 2〕 実施例 3-5 における受信回路の後に送信回路を縦続した他の例を示す機能構成図。

〔発明を実施するための最良の形態〕

25 [0016] 以下この発明の実施形態を図面を参照して説明するが、以下の説明において対応する部分には図面に同一参照番号を付けて重複説明は省略する。

#### 第 1 実施形態 (光符号多重)

この発明の第 1 実施形態は光符号多重化を可能としたものであるが、光多重化しない、つまり 1 つのデータ系列の光通信にも適用できるが、この項の表題は他の実施形態と区別し易いように括弧書きで (光符号多重) を付け加えた。

まずこの発明を適用できる送信側装置及び受信側装置の例を説明する。図2(a)に

この第1実施形態が適用される光送信側装置の例を示す。 $n=1, 2, \dots, N$  ( $N$ は2以上の整数)とし、光源 $10_n$ と符号器 $11_n$ の組は光ファイバ $14_n$ を通じて合波器 $15$ に接続される。各符号器 $11_n$ にはデータ系列 $D_n$ が入力され、データ系列 $D_n$ が符号器 $11_n$ で光符号信号に符号化され、光ファイバ $14_n$ を通じて合波器 $15$ へ入力され、他の光符号信号と合成され、合波器 $15$ から光符号多重化信号が出力される。図2(a)に示す例では合波器 $15$ と各符号器 $11_1, \dots, 11_N$ とが離れ、かつこれら合波器と符号器との間の距離が互いに異っていてもよい場合である。

[0017] 図3(a)に示すように符号器 $11_1, \dots, 11_N$ と合波器 $15$ は同一個所に設けられ、符号器 $11_1, \dots, 11_N$ に対し、光源 $10$ が共通に設けられていてもよい。図2(a)に示す構成のものと、図3(a)に示す構成のものとが組み合わされたものでもよい。

光受信側装置は図2(b)に示すように、分配器 $16$ に入力された光符号多重化信号は $N$ 個の光信号に分配され、それぞれ光ファイバ $18_1, \dots, 18_N$ を通じて復号器 $12_1, \dots, 12_N$ に入力され、各データ系列 $D_1, \dots, D_N$ が分離復号される。分配器 $16$ と復号器 $12_1, \dots, 12_N$ とが離れ、その距離は互いに異なってもよい。図3(b)に示すように分配器 $16$ と復号器 $12_1, \dots, 12_N$ が同一個所に設けられていてもよく、図2(b)に示す構成のものと、図3(b)に示す構成のものとが組み合わされたものでもよい。

#### [実施例1-1]

第1実施形態の原理を実施例1-1に示し、これを適用できる1系統の通信システムを図4に示す。この実施例1-1は、従来の光通信システムと同様に光源 $10$ 、符号器 $11$ 、復号器 $12$ 、光伝送路(光ファイバ) $13$ を具備し、更に、光伝送路の周波数分散により周波数に依存する伝播遅延時間に違いが存在するので、光符号信号を構成する各周波数成分の送受信間での遅延時間が同一となるように平準化して補償する分散補償器 $17$ をこの実施例1-1では具備している。この分散補償器 $17$ の補償対象とする光周波数帯域は少なくとも光符号信号として用いられる光周波数帯域よりも広い。

[0018] 光源 $10$ は、少なくとも符号器 $11$ の符号化対象光周波数領域(光周波数 $F_{st} \sim F_{la}$ )でこの例では少なくとも符号長 $F_{CL}$ (後で述べる $PFR_i$ の公倍

数) に相当する光周波数幅  $F_{SR}$  の光信号を出力する。つまりこの例では  $F_{CL} = F_{SR}$  である。

光源 10 からの光信号 20 は、符号器 11 により光周波数領域で光符号信号に符号化

される。この実施例 1-1 で用いられる符号器 11 は、従来の光通信システムにおける符号器と異なり、光通信システムにおいて用いる全ての符号化符号（符号語）の符号長 FCL が等しい光符号信号を、光周波数領域で生成する。前記光周波数領域での光符号信号は次の性質をもつものである。第 n 光符号信号の強度は光周波数 f の関数  
 5 （符号化符号ともいう） $C_n(f)$  であって、この関数値  $C_n(f)$  は 0 から 1 の値であり、符号器 11 の符号化対象光周波数領域  $F_{st} \sim F_{la}$  における任意の符号長 FCL（この例では FSR）の区間での関数値  $C_n(f)$  の積分値は、FSR を 2 で除した値であり、符号器 11<sub>n</sub> における光透過率の光周波数特性はその符号化対象周波数領域  $F_{st} \sim F_{la}$  において、一般には同一の関数  $C_n(f)$  が符号長 FCL の  
 10 周期で繰り返す。また、次式が成り立つ。

$$[0019] \quad C_n(f) = C_n(f + FCL) \quad n = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\int C_n(f) = FCL / 2 \quad (2)$$

なお以下では光強度の光周波数特性関数が  $C_n(f)$  の光符号信号も  $C_n(f)$  と表記する、つまり  $C_n(f)$  は光強度周波数特性関数、第 n 符号化符号又は第 n 光符号信号を表わす。また用語「第 n（光符号信号）」は他の実施形態における用語「n 番目（光符号信号）」と対応し、更に表記「（関数又は符号化符号） $C_n(f)$ 」は他の実施形態における「（光周波数特性関数又は符号） $C_n(f)$ 」と対応する。

[0020] 符号器 11 で生成された光符号信号を復号する復号器 12 は、この実施例 1-1 では、第 n 光符号信号  $C_n(f)$  に対し、復号器 12<sub>n</sub> は 1 周期が符号長 FCL と等しい関数（復号化符号ともいう） $D_n(f)$  を、その復号化対象光周波数領域で連続して繰り返すものであり、 $D_n(f)$  は次式で表される。

$$D_n(f) = C_n(f) - C_n'(f) \quad (3)$$

ここで、 $C_n'(f)$  は、第 n 符号化符号  $C_n(f)$  の光強度の大小を反転したものであり、その関数値  $C_n'(f)$  は関数値  $C_n(f)$  の反転値であり、次式の関係が成り立つ。

$$[0021] \quad C_n(f) + C_n'(f) = 1 \quad (4)$$

第 n 光符号信号の光周波数 f での値  $C_n(f)$  と、第 n 光符号信号を復号する復号器の復号化符号  $D_n(f)$  との内積を、符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれる光源の光周波数幅 FSR（この例では  $FCL = FSR$ ）分の連続する光周波数領域にわたり光周波数 f に関し積分した値が、零でない有限値  $FSR/4$  であり、次式

12/1

の関係が成り立つ。



$$\int C_n(f) \cdot D_n(f) df = FSR/4 \quad (5)$$

なお、式(5)の積分は光源の光周波数幅FSRで行う。FSRは周期FCLの丁度自然数倍であるが、この実施例ではFSR=FCLである。

[0022] 第n光符号信号 $C_n(f)$ と、第n光符号信号 $C_n(f)$ 以外の第m光符号信号 $C_m(f)$  ( $m=1, \dots, N$ かつ $m \neq n$ を除く)を復号する復号器12<sub>n</sub>の復号化符号 $D_m(f)$ との内積を、符号器の符号化光周波数領域とその復号器の復号化光周波数領域に含まれる光源光周波数幅FSR分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零であり、次式の関係が成り立つ。

$$\int C_n(f) \cdot D_m(f) df = 0 \quad m \neq n, m=1, \dots, N \quad (6)$$

図2及び図3に示したように多重化するデータ系列は複数個Nであり、これら第1, ..., 第Nデータ系列に第1, ..., 第N符号化符号が割り当てられ、第1, ..., 第N符号化符号の符号長FCLは互いに等しい値とする。符号器11<sub>n</sub>の符号化対象光周波数領域を光符号信号の符号長FCLより大とし、通常は符号器11<sub>n</sub>で第nデータ系列のデータに応じて、光源から入力された符号長FCLの自然数倍の光周波数幅、この例ではFSRの光信号を、光周波数領域で符号化した光符号信号 $C_n(f)$ を生成出力する。例えばデータが“1”(マーク)の時に光符号信号 $C_n(f)$ が1符号長分出力され、データが“0”(スペース)の時は光符号信号 $C_n(f)$ は出力されない。なおマーク、スペースは2種類の変調単位信号の一方と他方に対応する。

[0023] N個のデータ系列が光符号信号が多重化された光信号から第nデータ系列を復号する復号器12<sub>n</sub>では式(3)、式(5)から理解されるように入力された光符号多重化信号と第n符号信号 $C_n(f)$ 及びその反転光符号信号 $C_n'(f)$ との各内積の積分をそれぞれとり、これら積分値の差をとり、その差が所定値以上であれば復号データとして“1”を出力し、所定値以上でなければ復号データとして“0”を出力する。

このようにこの実施例1-1では、データ系列ごとに異なる波長周期を用いた従来例と異なり、全光符号信号が互いに直交する光周波数幅を符号長FCLの自然数倍の光周波数FSR ( $FCL=FSR$ )、符号器11<sub>n</sub>の透過率の光周波数特性はその符号化対象光周波数領域 $F_{st} \sim F_{la}$ 内で $C_n(f)$ が連続して繰り返され、復号器12<sub>n</sub>の透過率の光周波数特性もその復号化対象

光周波数領域  $F_{st} \sim F_{la}$  内で  $D_n(f)$  が連続して繰り返されるものであるため、各光符号信号は式 (5) と式 (6) で示される性質が保たれ、その積分の光周波数上の位置を変更しても、各光符号信号の復号器での内積の積分値は変化しない。従って、この実施例 1-1 では、符号で符号化される光源の光周波数幅  $F_{SR}$  が一定であり、

5 その光周波数が符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれるならば、光源の光周波数変化によって、対応する符号器による光符号信号は復号器で同一の入力強度の光符号信号として受信し、この復号器と対応しない他の光符号信号による干渉は増加しない。例えば図 5 (a) に示すように光源 10 よりの出力光信号の光周波数は  $f_{L1} \sim f_{L2} = F_{SR}$  であり、この光周波数幅は全符号が繰り返す光符号長  $F_{CL}$  の自然数倍であり、(この実施例は自然数として 1 を選択した例である。)

10 この光周波数幅  $f_{L1} \sim f_{L2}$  は図 5 (b), (c) にそれぞれ示す符号器  $11_n$  の符号化光周波数領域、復号器  $12_n$  の復号化光周波数領域にそれぞれ含まれている。従って光源 10 の出力光の光周波数がドリフトにより、例えば破線で示すようにずれても、これが符号化光周波数領域及び復号化光周波数領域内であれば、この光周波数がドリフトした光符号信号に対する復号化は、入力光符号多重化信号と復号化符号  $D_n(f)$  との内積を、光源の光周波数幅に相当する  $F_{SR}$  (この例では符号長  $F_{CL}$  に等しい) で積分して行われ、かつ式 (1) 及び (2) の関係があるから、ドリフト前と同一復号結果が得られ、また干渉の増加もない。同様に符号化光周波数領域及び復号化光周波数領域がドリフトによりずれても、良好な復号が行われる。この合波器 15

20 (図 2、図 3 参照) により生成された光符号多重化信号を伝送する光ファイバの光伝送帯域は光源の光周波数幅  $F_{SR}$  より、光源の光周波数変動を十分カバーする程度大であればよい。前記符号化光周波数領域及び前記復号化光周波数領域も前記光伝送帯域と同一とすればよい。つまりこの第 1 実施形態では符号同士が直交しているので、光源の光周波数幅  $F_{SR}$  は全符号の符号長  $F_{CL}$  と同一でよく、その場合光ファイバで伝送に要する光周波数幅は、符号長  $F_{CL}$  に光源の光周波数変動分を加えた光周波数幅でよい。

25

[0024] このため、文献 2 に示す従来技術では拡散符号同士が互いに直交しない関係にある光源周波数にて適用するものであり、符号間干渉を打ち消す必要上、サイン関数光を充分多数周期分取り出すための広帯域な光源を必要としたが、この実施例 1-

14/1

1 ではそのように広帯

域の光源は不要となり、光源 10 出射光は、同一の符号長  $FCL$  と対応した光周波数幅（周期幅）だけあればよく、伝送周波数（波長）帯域幅がそれだけ狭くて済み、光伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題を抑止することができる。

- 5 更に、分散補償器 17 を設けることにより伝送距離の違いによる符号間の直交性の崩れも軽減することができる。

[0025] 以上示したように、この実施例 1-1 では、符号器の符号化対象の光周波数領域が光符号信号の符号長  $FCL$  より大きな光周波数幅であり、式(1)から式(6)で示す特性を有する光符号信号を用い、且つ分散補償器 17 を、例えば図 2(b)中に破線で示すように復号器の直前、あるいは図 2 (b)中に破線で示すように符号器の直後に具備することで、符号器と復号器間の距離によらず、光源の出力信号光周波数が符号器で符号化対象とする光周波数範囲で変化した場合に、光源の出力光信号の光周波数幅が変化しなければ、対応する符号器の出力光符号信号は復号器で同一の入力強度の光符号信号として受信し、この復号器と対応しない他の光符号信号による干渉は増加しないため、光源の出力信号光周波数は所定の絶対周波数からの変動を許容し、光源の出力信号光周波数の校正を不要とすることができる。

[実施例 1-2]

この第 1 実施形態の実施例 1-2 は実施例 1-1 を具体化し、符号化関数  $C(f)$  として三角関数を用いる例である。この実施例 1-2 では、可能な限り小さな  $a$  の値（正整数）を用いかつ同一の  $a$  値で  $r'$  個の符号を生成する場合に、 $a$  は 1 から最大符号数（最大収容符号器数） $N$  を 2 で除した値  $N/2$  までの整数値をとり、 $r$  を 2 の剰余である 0 又は 1 とした場合に、第  $n$  光符号信号  $C_n(f)$  として次式で表せるものを用いる。

[0026] 
$$C_n(f) = (1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / FCL + r \cdot \pi / 2)) / 2 \quad (7)$$

この光符号信号関数値  $C_n(f)$  は 0 から 1 の値であり、符号器 11<sub>n</sub> の符号化対象光周波数における任意の光源光周波数幅  $FSR$ （この例では  $FSR = FCL$ ）の区間の積分値は  $FSR/2$  であり、符号器 11<sub>n</sub> は符号化対象とする光周波数領域において、光透過特性が関数値  $C_n(f)$  を、その符号長  $FCL$  の周期で繰り返し、実施例 1-1 における式(1)と式(2)を満たす。

[0027] この実施例 1-2 の光符号信号  $C_n(f)$  の例を図 6 に示す。図 6 の横軸は、符号長 FCL で規格化した光周波数、縦軸は強度であり、図 6(a), 図 6(b), 図 6(c) はそれぞれ  $a=1, 2, 3$  に対応し、点線が  $r=0$ 、実線が  $r=1$  に対応する光符号信号である。この光符号信号  $C_n(f)$  は  $C_n(f)=0$  以外では各チップと対応する単一周波数光信号がその配列順にアナログ的に変化する強度をもち、従来の図 1 に示したチップ対応に“1”か“0”の単一周波数光信号をもつ拡散符号とは異なる。

第  $n$  光符号信号  $C_n(f)$  を復号化する復号器 12<sub>n</sub> の復号化符号  $D_n(f)$  は次式で表されるものを用いる。

$$[0028] D_n(f) = (1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / \text{FCL} + r \cdot \pi / 2)) - 1 \quad (8)$$

第  $n$  光符号信号  $C_n(f)$  と第  $n$  光符号信号を復号化する第  $n$  復号化符号  $D_n(f)$  との内積を、符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれる光源光周波数幅  $F S R$  分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零でない有限値  $F S R / 4$  となり、第  $n$  光符号信号  $C_n(f)$  と、第  $n$  光符号信号以外の第  $m$  光符号信号を復号化する復号器の復号化符号  $D_m(f)$  との内積を符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれる光源光周波数幅  $F S R$  分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零であり、実施例 1-1 における式 (5) と (6) を満たす。

[0029] この実施例 1-2 に用いられる符号器 11<sub>n</sub> の構成例を図 7 に示す。光入力  
を、光路長の異なる 2 組の方路 41, 42 と、これらと光結合され、入力された各光  
を 2 組の方路に合分波する 2 組のカプラ 43, 44 とからなるマッハツエンダ干渉計  
が符号器 11<sub>n</sub> として用いられる。カプラ 43 の入力ポートの一方に入力された光は  
2 つの出力ポートよりそれぞれ方路 41, 42 に入力される。カプラ 44 の一方の出  
力ポートには方路 41 と 42 の光路長差で決る光周波数と所定の周波数間隔の整数倍  
だけその光周波数から離れた光周波数成分の光が主として出力され、他方の出力ポ  
ートから他の光周波数成分が主として出力される。この光周波数の選択特性はオンオフ  
的ではなく、なだらかな特性であるため、例えば図 5 (a) では選択光周波数 (規格  
化された) が  $f_1$  とされた場合であり、選択光周波数  $f_1$  で強度が 1 の余弦波状の光  
出力となる。

異なり、符号間干渉を十分無視できるだけの多周期にわたる光を出力する光源を必要とせず、つまり光源よりの出力光の光周波数帯域幅は特に広くする必要がなく、伝送帯域は光源の光周波数幅  $FSR$  より、光源の光周波数変動分をカバーする程度広ければよく、それ程広くする必要がないため伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題を抑止することができる。

[0032] また、この実施例 1-2 では、関数の周期、つまり式 (7) 中の  $a$  の変更に加えて、光符号信号の光周波数軸上での開始位置における位相を  $\pi/2$  変化させる、つまり式 (7) 中の  $r$  を 0 又は 1 に変化させることで、単なる周期 ( $a$ ) のみを変更して符号化する場合に比べて倍の符号化符号数を実現することができる。

#### 10 [実施例 1-2 の変形例]

実施例 1-2 として前述したものではデータ系列中のデータ “1” (マーク) の時のみ光符号信号を出力したが、データ “0” (スペース) 時にも光符号信号を出力してもよい。つまり、第  $n$  データ系列中のデータ “1” (マーク) で第  $n$  光符号信号  $C_n(f)$  を出力し、データ “0” (スペース) で第  $n$  光符号信号  $C_n(f)$  の反転光符号信号  $C_n'(f)$  を出力する。このための符号器 11<sub>n</sub> としては図 7 中に出力側カプラ 44 の後段に破線で示すように切替器 45 を設け、これに出力 A と B を入力し、切替器 45 をデータ系列  $D_n$  の各データで制御してデータが “1” (マーク) のときは出力 A を出力し、“0” (スペース) のときは出力 B を出力して、ノンリターンツウゼロの光変調信号とする。

[0033] この実施例では光符号信号は、マークのときに式 (9) と (10) が成り立ち

$$20 \quad \begin{cases} C_n(f) & D_n(f) = FSR/4 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} C_n(f) & D_m(f) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

スペースのときに式 (11) と (12) が成り立つ。この例も  $FCL = FSR$  である。

$$\begin{cases} C_n'(f) & D_n(f) = -FSR/4 \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} C_n'(f) & D_m(f) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

25 この実施例においても積分は光源の光周波数幅  $FSR$  で行うが、その幅  $FSR$  が符号長  $FCL$  と等しい場合である。

[0034] 従って、マークの光信号しか送らず、強度差検出器 57 の出力がマークで  $FCL/4$ 、スペースで 0 となる前記例と比べてマークとスペースの符号で 2 倍の (3Db) 大きな信

号が強度差検出器 5 7 の出力として得られる。従って信号対雑音比も 3 d B 向上するため、それだけ F S R を小さくすることが可能となり、伝送路の波長分散の影響を軽減することができる。なお、図 7 中に破線で示すように、入力側カプラ 4 3 の前段に切替器 4 5 を設けて、入力光をカプラ 4 1 の 2 つの入力ポートの一方と他方にデータ D<sub>n</sub> のマークとスペースに応じて切替え入力し、出力側カプラ 4 4 の一方の出力ポートのみから出力光を出力してもよい。またマーク (“1”) とスペース (“0”) の符号を入替えしても良い。つまりマーク (“1”) 及びスペース (“0”) と光符号信号 C<sub>n</sub> (f) 及び C<sub>n</sub>' (f) との対応づけは任意でよい。

[0035] 符号器 1 1<sub>n</sub> としては、図 9 に示すように構成してもよい。L N 変調器と同様に、電気光学効果を有する例えば L i N b O<sub>3</sub> 結晶よりなるプレーナ光波回路基板 4 6 上に 2 本の導波路 4 7, 4 8 を構成し、これら導波路 4 7, 4 8 の両端部の近くでこれらを互いに接近させてそれぞれカプラ 4 3, 4 4 を構成し、電気光学効果を用いて電界による複屈折率変化により、これらカプラ 4 3, 4 4 間の導波路 4 7, 4 8 により構成される 2 組の方路 4 1, 4 2 間に遅延差を与えるために、少なくとも一方の方路 4 1 (又は 4 2) に電界を印加するための一对の電極 4 9 を設ける。一对の電極 4 9 間により方路 (導波路) に印加する電圧は、各光符号信号 C<sub>n</sub> (f) に対応した式 (7) を満たす光周波数 (波長) 信号を符号器 1 1<sub>n</sub> により選択出力するように調整される。

[0036] 図 9 中に括弧書きで示すように、プレーナ光波回路基板上に方路 5 1, 5 2、カプラ 5 3, 5 4 を構成して復号器 1 2<sub>n</sub> を、マッハツエンダ干渉計つまりろ波器として同様に構成できる。この場合は式 (8) を満たすように電極 4 9 に印加する電圧を調整する。

この図 9 に示した構成とすることにより、電極 49 に印加する電圧を変更して符号化符号 C<sub>n</sub>(f) 又は復号化符号 D<sub>n</sub>(f) を変更することができ、符号化符号毎に異なる符号器/復号器の組を作成しなくて済むため、装置の製作コストを削減することができる。

また図 9 に示すように、温度が均質に変化する同一プレーナ光波回路基板 4 6 上に 2 つ組の符号器 1 1<sub>n</sub> と 1 1<sub>m</sub> (n ≠ m) とを構成し、これら符号器 1 1<sub>n</sub> と 1 1<sub>m</sub> により、式 (7) 中の a の値が同じで r の値が異なる第 n 光符号信号 C<sub>n</sub> (f) と、第 m 光符号信号 C<sub>m</sub> (f) を生成する。この二つの光符号信号 C<sub>n</sub> (f), C<sub>m</sub> (f) は、同一光周波数特性で  $\pi/2$  の

位相差であるため、それぞれを符号化する符号器  $11_n$  と  $11_m$  が同期しないで温度変動すると、温度変化による屈折率及び光路長変化で変化する光周波数がドリフトし、これら光符号信号  $C_n(f)$  と  $C_m(f)$  の相互相関値が劣化する。しかし図9に示す構成によれば符号器  $11_n$  と  $11_m$  が温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装されているため温度変動による相互相関値の劣化を抑止することができる。

### [実施例1-3]

第1実施形態の実施例1-3は光符号信号を構成する各光周波数成分であるチップの強度が1又は0をとる。この実施例1-3を適用することができる通信システムの構成例は図4に示したものと同様でよい。

[0037] この実施例1-3における符号器  $11_n$  により生成された光符号信号は実施例1-1及び1-2と同様に、第1～第N光符号信号はその符号長が同一長  $FCL$  であり、かつ、互いに直交性がある。そのような光符号信号であり、更に次の性質をもつものである。符号長  $FCL$  の符号化符号  $C_n(f)$  を連続して繰り返して連結した連結符号から符号長  $FCL$  分の連続するチップを任意に抜き出したチップ列中の“1”のチップ数と“−1”のチップ数が均衡し（同一数）、かつ互いに異なる符号化符号からそれぞれ生成した互いに異なる連結符号から符号長  $FCL$  分の連続するチップをそれぞれ任意に抜き出したチップ列間で、チップ配列の同一位置でチップの値が同時に“1”となる数と同時に“−1”となる数とが等しい。このようにチップで構成される符号の場合は、符号長は単位のない無名数の単なる数である。この符号長即ち符号を構成するチップの数とチップの光周波数幅の積が光周波数幅  $FCL$  に相当する。この点から先の実施例も含め、符号長は全符号が繰り返す光周波数幅  $FCL$  といえる。

[0038] このような符号は、例えばアダマール符号を用いて作ることができる、図10(a)に1次のアダマール行列  $H_1$  を、図10(b)に2次のアダマール行列  $H_2$  を、図10(c)にアダマール行列の漸化式  $H_n$  とをそれぞれ示す。アダマール符号は、アダマール行列の第1行以外の行を取り出し、0を1、1を−1に置き換えたものである。2次のアダマール行列の場合、アダマール符号は、行列の2行目の符号2 [0 1 0 1]、3行目の符号3 [0 0 1 1]、4行目の符号4 [0 1 1 0] となる。こ



20/1

れら符号 2 ～ 4 をそれぞれ連続的に繰り返し連結させた各連結符号はそれぞれ  
[ . . . 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 . . . ], [ . . . 0 0 1 1 0 0 1 1 0

0 1 1 . . . ], [ . . . 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 . . . ] となる。ここで、符号3の連結符号と符号4の連結符号は1チップ符号がシフトした関係になるので、この実施例1-3では同一の符号化符号となるから、その一方のみを用いる。

[0039] 符号器  $1\ 1_n$  ではこのような連結符号の各チップ対応にその配列順に連続する光周波数を順次割り当て、入力光中の“1”のチップと対応する光周波数成分が選択出力されて符号化される。符号  $C_1 = (0\ 1\ 0\ 1)$  の連結符号と対応する符号器の選択光周波数は図11(a)に示すようになり、符号  $C_2 = (0\ 0\ 1\ 1)$  の連結符号と対応する符号器の選択光周波数は図11(b)に示すようになる。

符号器  $1\ 1_n$  としては光源よりの符号長  $F\ C\ L$  の自然数倍又は連続する光周波数幅  $F_w (=F\ S\ R)$  の入力光を入力し、従って符号化符号  $C_n(f)$  の連結符号の各チップと対応して光周波数信号(成分)をろ波選択し、そのろ波選択された光周波数信号を第Nデータ系列と対応する光符号信号  $C_n(f)$  として出力し、あるいは前記チップと対応する光周波数信号(成分)を第Nデータ系列のデータ“1”で出力し、“0”で断にして第Nデータ系列の光符号信号  $C_n(f)$  としてもよい。このようにして符号化された各光符号信号は、前述した連結符号から任意に抜き出したチップ列のもつ性質を備え、互いに異なる光符号信号間の直交性が保たれる。

[0040] 復号器  $1\ 2_n$  も、符号器  $1\ 1_n$  と同様に連結符号と対応して入力光の光周波数成分(信号)をろ波選択し、少なくとも復号化光周波数領域  $F_{s\ t} \sim F_{l\ a}$  に相当する周波数幅を復号の対象とする。復号器  $1\ 2_n$  の構成例を図12に示す。光符号多重化信号はスプリッタ61によりろ波器62aとろ波器62bに分配され、ろ波器62aにより対応する符号器  $1\ 1_n$  と同じ順番の光周波数信号すなわち同じチップに対応する光周波数信号がろ波選択され、ろ波器62bにより、対応する符号器  $1\ 1_n$  の符号化符号を反転した符号と対応する光周波数信号、すなわち符号器  $1\ 1_n$  が選択しないチップに対応する光周波数信号がろ波選択される。ろ波器62aが選択した光周波数信号の光強度が検出器63aで、ろ波器62bが選択した光周波数信号の光強度が検出器63bでそれぞれ検出され、検出器63aの出力から検出器63bの出力が強度差検出器64で減算されて出力される。このようにして符号器  $1\ 1_n$  の出力する光の内から、少なくとも符号化符号を構成する連続するチップに相当する光符号信号が復号される。

[0041] 実施例 1-3 によれば光源光周波数のドリフトに影響されないことを図 1 3 を参照して説明する。光源波長のドリフトがない状態を図 1 3 (a) に示す。光源から符号長  $FCL$  連続する光源周波数幅  $F_w$  の光信号 2 0 が出力され、符号化光周波数領域 3 1 の符号器 1 1<sub>n</sub> により光信号 2 0 がそのチップ値が “1” と対応する光周波数信号がろ波選択 (符号化) されて光符号信号 2 1 が生成出力される。この光符号信号 2 1 は、復号化光周波数領域 3 2 の復号器 1 2<sub>n</sub> により復号光 2 2 としてろ波選択されて復号化される。

[0042] 図 1 3 (b) に示すように、光源周波数が  $\Delta F_1$  だけドリフトすると、符号器 1 1<sub>n</sub> において符号化光周波数領域 3 1 において光信号 2 0 を符号化して出力する部分が  $\Delta F_1$  だけ同一方向にシフトされ、光符号信号 2 1 が出力され、また復号器 1 2<sub>n</sub> において入力光多重化信号を復号する部分が  $\Delta F_1$  だけ同一方向にシフトされて、復号光 2 2 が出力される。

同様に図 1 3 (c) に示すように光源周波数のドリフトが大きく  $\Delta F_2$  であっても、そのドリフトした光信号 2 0 が、符号化光周波数領域 3 1 内かつ復号化光周波数領域 3 2 内であればそれぞれその領域内で  $\Delta F_2$  だけシフトした部分で符号化及び復号化が行われ、何れの場合も、先に述べたように光符号信号 2 1 は異なる光符号信号との直交関係が保持される。

[0043] なお光信号においてはその強度として負の成分はあり得ないから、チップ “-1” を “0” とすると、符号  $C_n(f)$  と復号化符号  $C_n(f)$  及びその反転符号  $(1 - C_n(f))$  との各内積を、それぞれ光源周波数  $F_w$  だけ光周波数  $f$  についての定積分した値は次式 (1 3) の関係が成立つことは容易に理解されよう。

$$\int C_n(f) \cdot C_n(f) df > \int C_n(f) \cdot (1 - C_n(f)) df \quad (1 3)$$

[実施例 1-3 の符号器/復号器のろ波器例]

この実施例 1-3 で用いる光信号を連続的に符号化/復号化する符号器/復号器に用いるろ波器の例を以下に説明する。図 1 4 にその一例を示す。結合率を任意に設定できる可変カプラ 7 1 が遅延線 7 2 を介して多段に接続され、各カプラ 7 1 の 2 つの出力ポート中の遅延線 7 2 が接続されていない出力ポートの光出力がそれぞれ位相シフタ 7 3 を介して合成用カプラ 7 4 にて集約されてろ波選択光出力信号として出力さ

、ドリフトすると、光入力光符号信号  $21''$  のようにろ波符号化される。

[0051] 光符号信号  $21'$  ,  $21''$  のいずれも、その符号長は  $FCL$  であり、従って、先に述べたように連結符号から連続するチップを光源周波数  $FSR$  (図20中では  $F_w$  と表現する) だけ切り出したチップ列と、光符号信号  $21'$  ,  $21''$  は同一の性質をもつものとなっている。そのため図20(b), (c) にそれぞれ示すように復号器  $12_n$  で光符号信号  $21'$  ,  $21''$  の各光周波数成分を選択した復号化符号信号  $22'$  ,  $22''$  が得られ、良好に復号することができる。なお、復号化選択光周波数がドリフトした場合は、図15を参照して説明した復号器  $12_n$  を用い、復号化選択光周波数をシフトして良好な復号を行うことができる。

10 [0052] 以上述べたように実施例1-3によれば、光源周波数、符号化対象光周波数領域31、復号化対象光周波数領域32の一方または双方がドリフトしても光源よりの光信号の光周波数帯がこれら領域31及び32(復号化対象光周波数領域32はそのシフト制御による領域を含む)内にあれば、復号器での入力光強度の劣化がなく、他の光符号信号との直交性も保持され、良好に復号することができる。

15 [実施例1-3の変形符号器、復号器]

実施例1-3の符号器  $11_n$  及び復号器  $12_n$  のろ波器の他の例を図21に示す。光入力はろ波器84に入力され、このろ波器84は符号化符号を構成する各チップの光周波数信号を異なるポートに出力し、かつ符号長に相当する光周波数だけ離れた光周波数信号を同一のポートに出力する。例えば符号化符号が4つのチップで構成され、そのチップ配列順に光周波数  $F_1$  ,  $F_2$  ,  $F_3$  ,  $F_4$  が順次割り当てられているとすると、ポート1には光周波数  $F_1 + qFCL$  ( $q = 0, 1, 2, \dots$ ) の光信号が、ポート2, 3及び4にはそれぞれ  $F_2 + qFCL$  ,  $F_3 + qFCL$  及び  $F_4 + qFCL$  の各光信号が出力される。このように連続する光周波数を繰り返し異なるポートに出力するろ波器としては、分岐する光周波数の光の数と各分岐光の光周波数の間隔との積及び同じポートに出力する光周波数の間隔 (Free Space Range) が符号長  $FCL$  に等しいアレー導波路格子形光合分波器 (AWG: Array Waveguide Grating) を用いることができる。なお、AWGで定義されている Free Space Range は  $FSR$  と略されるが、この明細書で用いられている光周波数幅の  $FSR$  とは異なり、この明細書での  $FSR$  に従えば  $C/FCL$  ( $C$  : 光速) と

表される。

[0053] このろ波器84の符号化符号の選択光周波数、つまり“1”のチップと対応する光周波数信号が出力されるポートを方路85によりカプラ又は合波器86aに接続し、そのカプラ又は合波器86aの出力を出力Aとして出力する。符号化符号の

5 “-1”のチップに対応する光周波数信号、つまり非選択光周波数信号が出力されるポートを方路87によりカプラ又は合波器86bに接続して、そのカプラ又は合波器86bの出力を出力Bとして出力する。図21の例では図11(b)に示した符号化符号 $C_2 = (0011)$ についての方路接続を示している。 $F_1 + q FCL$ ,  $F_2 + q FCL$ を出力するポート1と2は方路87に合波器86bに、 $F_3 + q FCL$ ,  $F_4 + q FCL$ を出力するポート3, 4は合波器86aにそれぞれ接続される。

10 [0054] その図21に示した構成のろ波器によれば符号器 $11_n$ のろ波器として、また復号器 $12_n$ 中のろ波器として使用できることは容易に理解できる。

15 なお、符号器 $11_n$ としてはカプラ又は合波器86a, 86bの一方とそれに対する方路85又は87を省略しても良い。また、カプラ又は合波器86a, 86bとしては、光周波数に関わらず光を分岐合波して分岐損が発生するカプラよりも、アレー導波路格子形光合分波器AWGを前記例とは逆に分波器ではなく合波器として用いた方が分岐損による光損失が軽減できる点でよい。このろ波器は図14に示されたるろ波器より構成部品が少ないため光損失が少ない利点がある。

20 [0055] 符号器 $11_n$ としては図22に示すように構成することもできる。図21中のろ波器84と同様のものを用い、その各ポートを方路 $89_1, \dots, 89_E$ を通じて光を通過させるか否か選択するスイッチ $91_1, \dots, 91_E$  (Eは符号化符号を構成するチップ数)をそれぞれ通じて合波器92に接続する。スイッチ $91_1, \dots, 91_E$ 中の符号化符号のチップが“1”と対応するものはオンにし、“-1”に対応するものはオフとする。

25 ろ波器84を用いて復号器を構成した例を図23に示す。ろ波器84の各ポートに接続された方路 $89_1, \dots, 89_E$ を合波器92aと合波器92bのいずれかに切替接続する切替器 $93_1, \dots, 93_E$ を設け、切替器 $93_1, \dots, 93_E$ を、符号化符号の“1”のチップと対応するものは合波器92aに、“-1”のチップと対応するものは合波器92bにそれぞれ接続する。合波器92a, 92bの各出力は検出器63a, 63bにそれぞれ供給され、その

て出力する。この場合も図7を参照して説明したようにろ波器の出力側ではなく入力側に切替器45を設けてもよい。また図7において破線の構成を付加した場合と同様に3dBの利得が得られる。

- [0060] 図28に示すように同一のプレーナ光波回路基板46上に一組の符号器 $11_n$ と復号器 $12_m$ を実装する。これら符号器 $11_n$ の第 $n$ 符号化符号と復号器 $12_m$ の第 $m$ 復号化符号は式(7)中の $a$ の値が同じで $r$ の値が異なるものである。これら符号器 $11_n$ 及び復号器 $12_m$ の組を通信システムの一方の位置に設け、この通信相手となる通信システムの他方位置に符号器 $11_n$ 及び復号器 $12_m$ の組を設ける。その一方に位置する復号器、例えば $12_m$ で受信する光符号信号の光周波数に合わせてその組のプレーナ光波回路基板の温度を図15を参照して説明したように温度を調整する。符号器 $11_n$ と復号器 $12_m$ とが、温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装されているため、前記温度調整により、符号器 $11_n$ のろ波器の選択ろ波する光周波数が復号器 $12_m$ のろ波器の選択ろ波する光周波数と同期制御される。従って前記温度を調整することで温度を調整した側の符号器、この例では $11_n$ から送出する第 $n$ 光符号信号の光周波数は温度を調整しない側の第 $m$ 復号化符号と相互相関値を低く調整することができる。図9を参照して述べたが、同一基板46上に2つの符号器 $11_n$ と $11_m$ を構成する場合と同様に、個別に温度変化が発生すると、相互相関値が劣化する光符号信号をそれぞれ符号化する符号器同士を、温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装するために相互相関値の劣化を抑止することができる。前記プレーナ光波回路基板の温度調整は符号器の透過光の強度を検出し、これに基づいて制御してもよい。この場合符号器として2値データの一方の値で光強度周波数特性関数 $C_m(f)$ の光信号を、他方の値で光強度周波数特性関数が $(1-C_m(f))$ の光信号をそれぞれ出力する二つの符号器を用いる場合は、両符号器の各透過光の強度の差に応じて前記温度調整をするとよい。更に、図9に示したものを用いる場合は1ユーザ(利用者)に2符号化符号を割り当てるために、システム全体として収容可能なユーザ数が半減する。しかし図28に示す構成によれば、復号器と符号器の組合わせを用いるため、反射光による干渉が無い符号化符号を用いながら、システム全体として使用可能なユーザ数が半減することはない。なお、この実施例では実施例1

ー2で用いた符号化符号について示したが、この実施例は、実施例1-3のアダマール符号で互いにシフトした関係に有る光符号信号もチップのシフトが抑制できるので同様に適用することが出来る。

[0061] 図29に示すように複数收容局の装置と、これら收容局装置からの信号を伝達する複数の光ファイバ13<sub>A</sub>, 13<sub>B</sub>, 13<sub>C</sub>と、これら複数の光ファイバ13<sub>A</sub>, 13<sub>B</sub>, 13<sub>C</sub>からの信号を単一光ファイバ13に集線する集線回路99と、集線回路99から単一光ファイバ13を介して集線後の光信号を受ける中央局装置Cstとからなる光通信システムが想定される。このような構成において、複数の光ファイバからの光信号を単一ファイバ13に集線する集線回路99に各收容局装置の符号器を配置する。つまりこの場合は図3(a)に示した構成となる。このようにして收容局装置と中央局装置との距離の違いによらず、全收容局装置からの光信号を同一の波長分散とすることができるため、各收容局装置に対応する各符号器からの光符号信号に対して同一の分散補償とすることができる。従って集線回路99から中央局装置を接続する光ファイバ13の光周波数に依存する遅延時間を平準化するように補償する単一の分散補償器で、全符号器からの光符号信号の分散補償ができる。また符号器を集中配置しているために全符号器の符号化特性光周波数の調整が一ヶ所で簡易にできる。

[0062] 更にこれまでの説明は光源10より光信号を符号器11に入力して、符号器11のその符号化符号C<sub>n</sub>(f)に応じた光ろ波周波数特性により、光周波数特性C<sub>n</sub>(f)を付与し、これに対しマーク、スペースに応じて断続させて第n光符号信号を生成したが、第2実施形態の実施例2-8で説明するように、符号化符号を構成する各チップと対応する、例えば単1光周波数の光信号を出力するチップ光源を設け、これらチップ光源を、符号化符号C<sub>n</sub>(f)を構成するチップ中の1と対応するチップ光源は出力し、0と対応するチップ光源は出力させないようにチップ光源を符号化符号C<sub>n</sub>(f)に応じてマーク時に出力し、スペース時はいずれのチップ光源からも出力させないようにしてもよい。

[0063] また実施例1-3の符号化符号の性質は次の通りである。異なる符号化符号から任意の二つの符号化符号を選択した場合にその第1の符号化符号と第2の符号化符号が同時にチップ配列上の対応チップの値で“1”となるチップ位

置の数と、第1の符号化符号が“1”となり第2の符号化符号が“−1”となるチップ位置の数が等しいか

第1の符号化符号と第2の符号化符号が同時に“−1”となるチップ位置の数と第1の符号化符号が“−1”となり第2の符号化符号が“1”となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たし、

上記符号化符号を連続して繰り返して連結した連結符号から前記符号長FCL分の連続するチップを任意に抽出したチップ列中の“1”のチップ数と“−1”のチップ数が抽出したチップ列によらず同一で、

互いに異なる任意の二つの符号化符号についてそれぞれ連続して繰り返し連結した互いに異なる連結符号のそれぞれから前記符号長FCL分の連続するチップを任意に抽出した第1のチップ列と第2のチップ列間で第1のチップ列と第2のチップ列が同時に“1”となるチップ位置の数と第1のチップ列が“1”となり第2のチップ列が“−1”となるチップ位置の数が等しいか、第1のチップ列と第2のチップ列が同時に“−1”となるチップ位置の数と第1のチップ列が“−1”となり第2のチップ列が“1”となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たす符号化符号であり、符号化符号を構成するチップにその配列と対応して連続する光周波数が順次割り当てられる。

[0064] 更に光源光周波数幅FSRは各符号化符号 $C_n(f)$ の符号長FCLの自然数倍であり、各符号器 $11_n$ の符号化対象光周波数領域 $31$ 及び、各復号器 $12_n$ の復号化光周波数領域 $32$ は共に光周波数 $F_{st} \sim F_{la}$ 、かつ $F_{st} - F_{la} > FSR$ である。また $F_{st} \sim F_{la}$ におけるFSR内で $C_n(f) = C_n(f + FCL)$ が成立し、 $C_n(f)$ の反転符号 $(1 - C_n(f))$ と $C_n(f)$ との間で前記式(13)、つまり

$$\int C_n(f) \cdot C_n(f) df > \int C_n(f) \cdot (1 - C_n(f)) df \quad (14)$$

が成立することは明らかである。 $\int dt$ は $F_{st}$ から $F_{la}$ までの任意の区間FSRにおける $f$ に関する定積分を表わす。

[0065] また $C_n(f)$ は符号化符号 $C_m(f)$ との間で次式(15)の関係が成立することも明らかである。

$$\int C_n(f) \cdot C_m(f) df = \int C_n(f) \cdot (1 - C_m(f)) df \quad (15)$$

なお実施例1-2では式(7)より明らかなように各 $C_n(f)$ について



$r$  が 0 又は 1 の符号化符号を用いることができ、 $a = n/2$  である。

〔第 2 実施形態〕（光位相・振幅変調）

この発明の第 2 実施形態は光周波数軸の搬送波に対し、位相変調や位相振幅変調を行って、従来の問題点を解決した実施形態である。

5   〔実施例 2-1〕

この第 2 実施形態を適用した実施例 2-1 の光通信システムを図 30 に示す。光送信装置 100 では入力端子 101 よりの伝送信号、一般に 2 値データ系列信号をその  $V$  個（ $V$  は 1 以上の整数）ごとのデータに応じた 1 周期未満の位相シフト（位相シフト値）系列、つまり変調位相系列（変調単位系列ともいう）に信号位相量変換器 110 で変換する。光源 120 からの光信号を、あらかじめ決めた光周波数（波長）を基準として開始する光周波数（波長）軸上で擬似搬送波の位相を信号位相量変換器 110 10 110 よりの各位相量に位相変調部 130 でシフトする。擬似搬送波を以下では単に搬送波ということもある。

〔0066〕 なお擬似搬送波の位相が変調された光信号は後述からも明らかなように「光強度周波数特性（関数）を有する光信号」や「符号で符号化された光信号」あるいは「光ろ波周波数特性（関数）でろ波された光信号」である。しかしこの第 2 実施形態は無線通信技術などに用いられている時間軸上の搬送波に対し、QPSK や QAM 変調と同様なことを光周波数軸上の擬似搬送波に対し行うものであるから、理解し易いように用語として「擬似搬送波」を主に用いる。

20   例えば図 31 に示すように、データ系列を  $V = 2$  個ずつのデータに分割し、その異なるデータ組ごとに異なる位相シフト量、つまり基準位相 0 に対しずらされた位相量（以下、位相シフト量はこのことを意味する）を割り当てる。例えばデータ組 (0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1) のそれぞれを、1 周期未満の位相量 0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$  に変換する。

25   〔0067〕 前記擬似搬送波として、基準光周波数  $f_s$  からの光周波数差を位相  $f$  とすると  $4000\text{GHz}$  を 1 周期  $\Lambda$  とし、各光周波数信号の強度を変数とする三角関数に 1 をくわえて 2 で除した関数を想定すると、位相量 0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$  は図 31(a)～図 31(d) に示すように光周波数が  $100\text{GHz}$  ずつ順次シフトした光周波数特性となる。図 31(a)～図 31(d) において左から 1 番目は擬似搬送波を複素平面上でのベクトル  
30   を表わし、

左から2番目は擬似搬送波の瞬時位相に対する光強度特性を、各右端は光周波数に対する光強度特性をそれぞれ示している。

[0068] 擬似搬送波の周期  $\Lambda$  の  $n$  倍を  $FSR$ 、つまり  $FSR = FCL = n\Lambda$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) とすると、光源120は、少なくとも  $FSR$  の光周波数幅の光信号を出力する。なお、この例でも光源光周波数幅  $FSR$  と符号長  $FCL$  を等しいとしている。本例は、以降  $FCL$  の代りに  $FSR$  で符号長を示している。位相変調部130の出力光信号は  $((1 + \cos(2\pi f n / FSR + \Theta))) / 2$ 、位相シフト量  $\Theta = 0, \pi / 2, \pi, 3\pi / 2$  のいずれかとなる。

光受信装置200では受信光が分配器210で位相シフト量  $0, \pi / 2, \pi, 3\pi / 2$  とそれぞれ対応した4つのろ波器221, 222, 223, 224に分配され、ろ波器221, ..., 224の各透過光の強度が検出器231, ..., 234で検出される。互いに半周期位相がずれた位相シフト量と対応したろ波器の強度を検出した検出器231と233、232と234の各出力がそれぞれ比較器241, 242で互いに引き算される。比較器241, 242の出力から、擬似搬送波の位相シフト量と対応したデータ組に符号信号変換器250で変換して復号データ系列として出力される。

[0069] 図32-1～図32-4に、この実施例2-1の光源120の波長特性とパルス光源とした場合の強度時間特性、各位相シフト量  $\Theta$  に応じた変調部130の光出力（光送信装置100の光出力）、受信装置200の各ろ波器のろ波特性、各位相シフト量での各ろ波器による透過強度特性、各検出器の検出強度の時間変化の例を示す。各図の最左の列は光源120の出力光であり、出力光の光周波数幅を400GHzとし、出力光がその全波長にわたり平坦な強度を想定している。図32-1～図32-4の各左から2列目に、それぞれ位相シフト量  $0, \pi / 2, \pi, 3\pi / 2$  に対応した、位相変調部130の出力光の光周波数特性を示す。各図の左から3列目は、光受信装置200のろ波器221, 223, 222, 224のろ波周波数特性を示す。図32-1～図32-4毎の変調部出力光を受けた場合の各ろ波器221, 223, 222, 224を透過した透過光の周波数特性を図32-1～図32-4の各左から4列目にそれぞれ示す。図32-1～図32-4の各最右列は、検出器231, ..., 234で検出する強度の時間変化をそれぞれ示す。これら図32-1～図32-4に示されるように、光源出力光のパワーを1とすると、位相変調部130における基準に対する位相シフト量に応じた変調部出力光の光周波数特性と同一

のろ波特性を有するろ波器の検出器強度は 0.375 となり (図 32-1

では1行目、図3 2-2では2行目)、それとろ波特性が  $\pi$  ずれたろ波器に対応する検出器強度は0. 1 2 5となり(図3 2-1では3行目、図3 2-2では4行目)、両者を比較する比較器では、0. 2 5の出力が得られる。一方、位相変調部1 3 0における基準に対する位相シフト量の出力光の周波数特性に対し、ろ波特性が  $\pi/2$  及び  $3\pi/2$  それぞれずれたろ波器の検出器強度はそれぞれ0. 2 5である(図3-1では2行目と4行目、図3-2では3行目と1行目)、このためこれら検出器出力を比較する比較器では0の出力が得られる。

5

[0070] 検出器及び比較器が光周波数毎に透過光強度を検出してこれら強度を比較するのではなく、ろ波器の透過光の各光パルス分の光強度を比較する場合における比較器の出力強度について以下に示す。

10

位相変調部1 3 0の出力光を次式で表す。

$$(1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta)) / 2) df \quad (16)$$

ここで、 $f$  は基準光周波数からの光周波数差を意味する。ここでは  $n=1$  としている。

(1) 位相変調部1 3 0の入力位相シフト量に応じた位相変調部出力光の光周波数特性と同一のろ波特性を有するろ波器に対応する比較器出力の場合：

15

$$(1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta)) / 2) df$$

$$- (1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta + \pi)) / 2) df$$

20

$$= (1/8\pi) \int (1 + \cos 2(2\pi f/FSR + \Theta) + 2\cos(2\pi f/FSR + \Theta)) df = 0. 25 \quad (17)$$

左辺1項目は例えば検出器2 3 1の出力、2項目は検出器2 3 3の出力と対応する。

(2) 位相変調部1 3 0の入力位相シフト量に応じた位相変調部出力光の光周波数特性と位相が  $\pi/2$  異なるろ波特性を有するろ波器に対応する比較器出力の場合：

25

$$(1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta + \pi/2)) / 2) df$$

$$- (1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta - \pi/2)) / 2) df$$

光送信装置 100 における信号位相量変換器 110 は例えば図 30 中に示すように、  
 入力端子 101 からのデータ系列は直並列変換器 110 a によりこの例では 2 系列に  
 分配され、直並列変換器 110 a からの 2 系列の 2 つのデータが D/A 変換器 110  
 b によりその入力データの組み合わせ (0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1) に応  
 じてデジタル値 0, 1, 2, 3 にそれぞれ変換され、例えばこれらの値に応じた大  
 5 きさの電圧が図 9 中の電極 49 に印加される。これらの印加電圧値に応じて、位相変  
 調部 130 の出力光の擬似搬送波の位相が図 31 (a) ~ 図 31 (d) に示すように  
 変化する。

[0076] また光送信装置 100 中のろ波器 131 は光源 120 からの光の周波数で少  
 なくともその光周波数幅 FSR をろ波し、そのろ波特性、つまり透過率 (光強度) -  
 10 光周波数特性は、基準光周波数  $f_s$  からの光周波数差を位相とした場合に、各位相の  
 透過率 (光強度) が、FSR を自然数  $n$  で除した周期の三角関数に 1 を加えて 2 で除  
 した関数に従うものである。

光受信装置 200 における符号信号変換器 250 は例えば図 30 中に示すように比  
 較器 241, 242 の各出力 0 又は 1 が並直列変換器 251 に並列に入力され、1 系  
 15 列のデータ信号として出力端子 201 に出力される。光送信装置 100 の入力端子 1  
 01 に入力された伝送信号が、出力端子 201 に復元出力されることになる。

[0077] このようにこの実施例 2-1 は、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない  
 搬送波を、光周波数軸上で所望の周波数の繰り返しで切り出した正負の極性を有し  
 20 ない光周波数軸上の強度変調で模擬するために、擬似搬送波の周期の自然数倍の光周  
 波数幅の広帯域な光を用い、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセ  
 ルする差動検出を行うことで、同一光周波数の光を用いる場合でも、有限の光周波数  
 幅では直交しない三角関数に起因する擬似搬送波同士の相関を除去して、相関のない  
 搬送波を模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度  
 25 を緩和した制御精度での MPSK を実現することができる。なお第 2 実施形態が第 1  
 実施形態と技術的には基本的に同一思想に基づくものであることは後で説明する。

#### [実施例 2-2]

実施例 2-1 では、位相変調部 130 において、ろ波器 131 がろ波した光又はろ波  
 す

の透過光周波数が  $FSR/2/n$  ずれている。本実施例で用いる擬似搬送波を  $i$  番搬送波とし、 $2\pi f = \Theta$  とすると、各組の特性関数は  $C_i(\Theta)$  又は  $C_i(\Theta + \pi)$  及び  $C_i(\Theta + \pi/2)$  又は、 $C_i(\Theta + 3\pi/2)$  となり、 $\int d\Theta$  を区間  $FSR$  の定積分とすると次式が成立つ。

$$\begin{aligned} 5 \quad [0079] \quad & \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + \pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) d\Theta = \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + 3\pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) d\Theta = 0 \quad (20) \\ & \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_i'(\Theta)) d\Theta = \int C_i(\Theta + \pi) (C_i(\Theta + \pi) - C_i'(\Theta + \pi)) d\Theta \quad (21) \end{aligned}$$

図 36 (a) に複素座標上における QPSK の信号点 (座標点) を、図 36 (b) に QPSK を模擬する場合の信号データ組と、座標点と選択ろ波位相の組の例を示す。ここで組数  $M/2=2$  とし、一方の組の位相シフトが  $0$  と  $\pi$ 、他方の組の位相シフトが  $\pi/2$  と  $3\pi/2$  とし、その各座標点を図 36 (a) に単位円上で示している。位相シフトが  $0$  と  $\pi$  の組における  $0$  と  $\pi$  は  $x$  軸上の  $1$  と  $-1$  にそれぞれ相当し、位相シフトが  $\pi/2$  と  $3\pi/2$  の組における  $\pi/2$ 、 $3\pi/2$  は  $y$  軸上の  $1$  と  $-1$  に相当する。座標点は  $x$  軸の値を括弧内における左に、 $y$  軸の値は括弧内の右にそれぞれ記載した。

[0080] 位相変調部 130 は、信号位相量変換器 110 よりのデータ組の一方、図 36 (b) の例では上位ビット (データ) の  $0$  又は  $1$  に応じて、 $0$  位相シフト又は  $\pi$  位相シフトの擬似搬送波の光と、下位ビット (データ) の  $0$  又は  $1$  に応じて  $\pi/2$  位相シフト又は  $3\pi/2$  位相シフトの擬似搬送波の光とを出力する。つまりこの出力される擬似搬送波光の変調単位ごとにデータ系列中の 2 つのデータの組合せ符号を表わす光符号信号といえる。

図 35 (a) に示す例では図 34 と同様に各擬似搬送波対応のろ波器 133a ~ 133d が設けられ、 $0$  相のろ波器 133a と  $\pi$  相のろ波器 133c とが組とされ、 $\pi/2$  相のろ波器 133b と  $3\pi/2$  相のろ波器 133d とが組とされる。変調器 132a と 132b として切替スイッチが設けられ、信号位相変換器 110 の直並列変換器 110a の上位ビットにより変調器 132a のスイッチが制御され、この上位ビット (データ) が “0” であれば変調器 132a のスイッチは  $0$  相ろ波器 133a に接続され、“1” であれば  $\pi$  相ろ波器 133c に接続される。直並列変換器 110a の下位ビット (データ) により変調器 132b としてのスイッチが制

御され、この下位ビットが“0”であれば  $\pi/2$  相ろ波器 133b に接続され、“1”であれば  $3\pi/2$  相ろ波器 133d に接続される。これら変調器 132a, 132b としての各切替スイッチにより切替え出力された各ろ波器の透過光は合波器 136 を通じて光伝送路 300 へ出力される。

- 5 [0081] つまり端子 101 よりの入力データ系列は直並列変換部（系列変換部という）110a で各データごとに第 1 分離データ系列（下位ビット系列）と第 2 分離データ系列（上位ビット系列）と振り分けられ、第 1 分離データ系列の各データごとにその値に応じて変調部 132b が、第 2 分離データ系列の各データごとにその値に応じて変調部 132a がそれぞれ制御され、それぞれ対応する擬似搬送波（光強度周波数特性）の  
 10 光符号信号が出力され、これら光符号信号が合成されて光符号信号として出力される。

変調器 132a, 132b としてはどのろ波器に光を入力するか選択するようにしてもよい。つまり図 35 (b) に示すように光源 120 よりの光を分岐器 134' により 2 分岐し、その一方の分岐光を変調器 132a' としてのスイッチにより 0 相ろ波器 133a と  $\pi$  相ろ波器 133c に切替え入力し、他方の分岐光を変調器 132b' としてのスイッチにより  $\pi/2$  相ろ波器 132b と  $3\pi/2$  相ろ波器 132d  
 15 に切替え入力し、ろ波器 133a ~ 133d の各透過光を合波器 136 を通じて光伝送路 300 へ出力してもよい。ろ波器 133a ~ 133d の入力側と出力側ともに、切替スイッチの変調器として、選択したろ波器にのみ光源からの光を入力し、選択したろ波器からの光を透過させるようにしてもよい。

- 20 [0082] この実施例と対応する光受信装置は図 30 に示したものと同様の構成とすることができる。ただし比較器 241 と 242 は +1 又は -1 を出力するため図 30 中の光受信装置 200 中に破線枠で示すように変換部 241a, 242a により、比較器 241, 242 の出力中の -1 を 0 として符号変換器 250 へ供給する。これにより符号変換器 250 から光送信装置 100 の入力伝送信号系列と同一の信号系列が得  
 25 られることは容易に理解されよう。

このようにして、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度での QPSK を実現することができる。

#### [実施例 2-4]

実施例 2-4 は擬似搬送波により 16QAM を模擬したもので、この例では 16 種類の

位から2番目のデータにより切替スイッチ152aが制御され、スイッチ152aはデータが0で $\pi/2$ 相ろ波器133bに接続され、データが1で $3\pi/2$ 相ろ波器133dに接続され、スイッチ152aよりの出力光は振幅変化部152bでデータ組中の最下位データにより強度が制御され、データが0で強度3に、1で強度1にされて合波器136に出力される。

[0085] つまり端子101よりの入力データ系列は直並列変換部（系列変換部という）110cにより第1～第4分離データ系列にデータごとに順次振分け分離され、第3分離データ系列の各データごとにその値に応じて位相変調部152aが、第4分離データ系列の各データごとにその値に応じて位相変調部151aがそれぞれ制御され、第1分離データ系列の各データごとにその値に応じて振幅変化部152bが第2分離データ系列の各データごとにその値に応じて振幅変化部151bが制御される。

図39に示すように、光源120とろ波器133a～133dとの間に変調器151及び152を挿入してもよい。この場合は光源120よりの光を分岐器134で2分岐し、その一方の光を、変調器151でまず振幅変化部151bにより、上位から3番目のデータに応じて強度が3又は1に制御し、その制御された光を、切替スイッチ151aで最上位データにより0相ろ波器133a又は $\pi$ 相ろ波器133cに切り替え出力する。分岐器134よりの他方の光を、変調器152でまず振幅変化部151bにより、最下位データに応じて強度が3又は1に制御し、その制御された光を、切替スイッチ152aで上位から2番目のデータにより $\pi/2$ 相ろ波器133b又は $3\pi/2$ 相ろ波器133dに切り替え出力する。

[0086] ろ波器の各2組について、その入力光を3番目のデータ、最下位データによりそれぞれ振幅変化部151b、152bで強度制御し、各2組のろ波器中の何れかの選択を、最上位データ、2番目のデータにより切替スイッチ151a、152aでそれぞれ行って出力してもよい。逆に光源からの光を2つの切替スイッチ151a、152aにより、各組のろ波器の何れかに入力し、各組のろ波器の出力光を、それぞれ振幅変化部151b、152bで強度制御して出力してもよい。

光受信装置200は図37-2に示すように、図30に示したろ波器221～224、検出器231～234、比較器241、242とそれぞれ同様のものが用いられるが、符号信号変換器250の代りに、比較器241、242の各出力の極性（正負）を含む2つのレベル



(強度)、つまり各4つのレベルに対応した4個のデータの組に変換し、これを直列に出力する符号信号変換器(データ生成手段)260が用いられる。つまり比較器241, 242の出力としては、図38(b)に示す3, 1, -1, -3の何れかが出力され、これらの組み合わせと対応して、図38(b)中のデータ組が出力される。

- 5 [0087] このような符号信号変換器260としては例えば図37-2の光受信装置200中に示すように、比較器241, 242の各出力はA/D変換器261, 262でそれぞれサイン(符号)を含む3ビットのデジタル値に変換され、これら3ビット、(全部で6ビット)のデジタル値をアドレスとして変換メモリ265を読み出せば、図38(b)に示した対応関係をもつ4ビットのデータ組が出力され、出力データ組を並直列変換器(データ生成手段)266で直列データに変換して出力端子201へ出力する。なお、変換メモリ265にはアドレスと読み出されるデータの関係を図38(b)に示す比較器出力とデータ組の関係が得られるように予め記憶しておくものとする。

- 15 [0088] このようにしてこの実施例2-4は、実施例2-1と同様に、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数軸上で所望の周波数の繰り返しで切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬するために、模擬搬送波の周期の自然数倍の光周波数幅の広帯域な光を用い、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルする差動検出を行うことで、同一光周波数を用いる場合でも、有限の光周波数幅では直交しない三角関数に起因する擬似搬送波同士の相関を除去して、相関のない搬送波を模擬し、互いに直交する複数の模擬搬送波を半周期で強度変調し、同時に伝送することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でのQAMを実現することができる。

#### [実施例2-5]

- 25 前記実施例では擬似搬送波として光周波数軸上でアナログ的に変化するものを用いたが、実施例2-5は擬似搬送波として、光周波数軸上でデジタル的に断続されるものを用いる。光送信装置100は図40に示すように、信号位相量変換器110、光源120からの光を光周波数(波長)軸上で複数のチップに分割して透過するろ波器137と、変調器132とからなる位相変調器160を備える。

[0089] 光源120が出力する光の光周波数幅をFSRとする。

ろ波器137は、光源120の光を受けて、光源120の出力する光の光周波数で少なくとも光周波数幅FSRをろ波し、光源からの光周波数幅FSRの光を、4の倍数であるL個のチップに光周波数軸上で分割してそのチップを選択的に透過させる。以下のようにろ波器の光を透過するチップの選択を位相の値にマッピングする。ここでL/4の約数をSとする。図41にろ波特性の例を示す。

位相0のろ波器137a：連続する2Sチップをオン（通過）としその次の2Sチップをオフ（遮断）とすることをLまで繰り返してろ波する。

[0090] 位相  $\pi/2$  のろ波器137b：連続するSチップをオフ（遮断）としその次の2Sチップをオン（通過）としその次のSチップをオフ（遮断）とすることをLまで繰り返してろ波する。

位相  $\pi$  のろ波器137c：連続する2Sチップをオフ（遮断）としその次の2Sチップをオン（通過）とすることをLまで繰り返してろ波する。

位相  $3\pi/2$  のろ波器137d：連続するSチップをオン（通過）としその次の2Sチップをオフ（遮断）としその次のSチップをオン（通過）とすることをLまで繰り返してろ波する。

[0091] 例えばL=4, S=1の場合のろ波器137a, 137b, 137c, 137dの各ろ波光周波数特性を図41に示す。光周波数軸上で4Sチップ相当のFSR/nを周期とし、その周期の1/2の幅の2Sチップ相当、つまり1周期を $2\pi$ とし、 $\pi$ 幅で2Sチップを0,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $3\pi/2$ の各位相位置にシフトしたその各2Sチップ部分をろ波器137a, 137b, 137c, 137dはそれぞれ光を透過させるろ波特性であるろ波器137a, 137b, 137c, 137dの各ろ波特性を図41(a)、図41(b)、図41(c)、図41(d)にそれぞれ示す。従ってこれらろ波器137a, 137b, 137c, 137dを透過した光は、光周波数（波長）軸上でFSR/nを周期とする擬似搬送波が $\pi$ 幅の方形波、つまりデューティ比が50%でそれぞれ0,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $3\pi/2$ に位相変調されたものとなる。ここでFCL=FSRとしている。

[0092] この実施例2-5ではこのような位相の擬似搬送波2つと、2個のデータの組とを対応づけてQPSK変調を可能とする。この実施例2-5ではろ波器137a, ..., 137dを0, ...,  $3\pi/2$ にそれぞれ対応づけているから、図35(a)に示

した光送信装置 100 と同様に信号位相量変換器 110 よりの 2 個のデータにより、  
図 40 において変調器 132 a, 132 b により、それぞれ 0 相ろ波器 137 a の出力光か  $\pi$  相ろ波器 137 c の出力光か

器と対応する検出器強度は0となり、これら両者を比較する比較器では、0. 5の出力が得られる。例えば図4 2-1においては1行目の変調部出力が入力され、ろ波器2 3 1の出力光に対する検出強度は1行目に示すように0. 5になり、ろ波器2 3 3の出力に対する検出強度は3行目に示すように0になる。変調部出力の光周波数特性

5 に対し、ろ波特性がそれぞれ  $\pi$  及び  $3\pi/2$  ずれたろ波器と対応する各検出器強度はそれぞれ0. 25であるため、これら両者を比較する比較器では0の出力が得られる。例えば図4 2-1においてはろ波器2 3 2及び2 3 4の各出力光に対する検出強度は2行目及び4行目にそれぞれ示すように0. 25になる。

[0096] ここで、各チップの光周波数軸上の透過特性は、矩形であることが望ましいが、

10 図中でのチップの区別の容易さから三角形にて示している。但し、全チップ透過時の検出器でのパワーを1として規格化しているため、光周波数軸上の透過特性が三角であっても、ガウス分布であっても一般性を失うことなく実施例2-5は先に説明したように作用する。

図4 0では単一の光送信装置1 0 0と光受信装置2 0 0の組合せしか示していない

15 が、他の光送信装置と光受信装置とが同一の光伝送路3 0 0を同一の光周波数で共用する際は、異なるLの値を選択する。Lは位相シフトの数Mに対応する4の倍数であり、かつ光周波数帯FSRを構成するチップ数を任意の整数nで除した値である。Sの値は、Lを位相シフトの数M即ち4で除した値である。位相シフト量の番号をPとすると $P=0, 1, 2, 3$ であり、 $P=0$ は位相シフト0、 $P=1$ は位相シフト  $\pi/2$ 、 $P=2$ は位相シフト  $\pi$ 、 $P=3$ は位相シフト  $3\pi/2$ に対応する。即ち  $2\pi P/M$  ( $M=4$ ) である。Lチップ毎に、この位相シフト量の番号PにSを乗じたPSに1からL/2を加えた値のLに関する剰余に相当するチップを透過率1とし、それ以外のチップを透過率0とすることを少なくともn回繰り返す。即ちAをLで割算した剰余をMOD (A, L) とすると、 $(Q-1)L + \text{MOD}(PS+1, L) \sim$

20  $(Q-1)L + \text{MOD}(PS+L/2, L)$  でQを1から上記nまで変化させたチップ番号となるチップの透過率を1とし、残りのチップの透過率を0とする。ここで選択したLの値とそれに対応するnの値との積は一定であるため、受信側の差動検出により、擬似搬送波同士の内積がFSRの区間で積分すると零となり、受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルすることができる。

[0097] 上記  $L$ ,  $M$ ,  $n$ ,  $S$ ,  $P$ ,  $Q$  の関係例として  $n=1$ ,  $M=4$ ,  $S=6$ ,  $L=24$  の場合の透過率を 1 とするチップを図 43 (a) に薄墨色を付けて示し、 $n=2$ ,  $M=4$ ,  $S=3$ ,  $L=12$  の場合の透過率 1 のチップを図 43 (b) に示す。

5 なお、実施例 2-5 で用いるろ波器が、FSR の外の光周波数に対しても擬似搬送波と同じ関数でかつ FSR での周期関数に従うろ波器であり、同一光伝送路を共用する他の光送信装置が用いる光周波数域もろ波の対象とするならば、相互の内積の FSR での積分は零となり、相互に直交し搬送波間で干渉しない。この実施例 2-5 で用いるろ波器としては例えば、図 16 に示したものをを用いる。

10 [0098] このようにして実施例 2-5 では、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、広帯域な光を光周波数軸上で所望の周波数の繰り返し切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度での QPSK を実現することができる。

#### [実施例 2-6]

15 実施例 2-5 で述べたように、光周波数 (波長) 軸上で擬似搬送波を  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $3\pi/2$  のいずれかの位相シフトに、幅  $\pi$  のチップ連で位相変調し、図 35 に示したと同様の手法により QPSK 変調を模擬することができる。本実施例で用いる擬似搬送波を  $i$  番搬送波とし、 $2\pi f = \theta$  とすると、各組のろ波特性関数は  $C_i(\theta)$  又は  $C_i(\theta + \pi)$  及び  $C_i(\theta + \pi/2)$  又は  $C_i(\theta + 3\pi/2)$  となり、  
20  $\Sigma$  を  $\theta = h\delta\theta$  として、 $h=0$  から  $FSR/\delta\theta - 1$  まで加えた区間 FSR の総和とすると、次式が成立つ。

$$[0099] \quad \Sigma C_i(\theta) (C_i(\theta + \pi/2) - C_i'(\theta + \pi/2)) = \Sigma C_i(\theta) (C_i(\theta + 3\pi/2) - C_i'(\theta + 3\pi/2)) = 0 \quad (22)$$

$$25 \quad \Sigma C_i(\theta) (C_i(\theta) - C_i'(\theta)) = \Sigma C_i(\theta + \pi) (C_i(\theta + \pi) - C_i'(\theta + \pi)) \quad (23)$$

式 (22) 及び式 (23) は、それぞれ式 (20) 及び式 (21) の積分演算をデジタル処理する場合の演算式である。

実施例 2-5 で示した擬似搬送波を用い、図 37-1 及び図 37-2 を参照して説明した実施例 2-4 の手法と同様にして、QAM 変調を模擬することができることは容易

(1, 24, 3, 8) と (2, 12, 3, 4) の場合を図 4 4 に示す。図で、薄墨色が 1 のチップを意味する。 $(n, L, M, S) = (1, 24, 3, 8)$  の場合、 $n=1$  であるから  $Q=1$  だけであり、図 44 (a) の左側の図に示すように、位相シフト 0 ( $P=0$ ) で  $(1-1) 24 + \text{Mod}(0 \cdot 8 + 1, 24) = 1$  番目のチップ a から  $(1-1) 24 + \text{Mod}(0 \cdot 8 + 24/2, 24) = 12$  番目のチップ b まで 1、位相シフト  $2\pi \cdot (1/3)$  ( $P=1$ ) で、図 44 (b) の左側の図に示すように  $(1-1) 24 + \text{Mod}(1 \cdot 8 + 1, 24) = 9$  番目のチップ a から  $(1-1) 24 + \text{Mod}(1 \cdot 8 + 24/2, 24) = 20$  番目のチップ b まで 1、位相シフト  $2\pi \cdot (2/3)$  ( $P=2$ ) で図 44 (c) の左側の図に示すように  $(1-1) 24 + \text{Mod}(2 \cdot 8 + 1, 24) = 17$  番目のチップ a から  $(1-1) 24 + \text{Mod}(2 \cdot 8 + 24/2, 24) = 4$  番目のチップ b までがチップ 1 となる。つまりチップが最も大きい番号は 24 番目までであるからチップ 1 番目から 4 番目とチップ 17 番目から 24 番目までのチップが 1 となる。

[0102]  $(n, L, M, S) = (2, 12, 3, 4)$  の場合、 $n=2$  であるから  $Q=1$  と  $Q=2$  とがあり、図 44 (a) ~ 図 44 (c) の各右側の図に示すように位相シフト  $P=0$  で、かつ  $Q=1$  で  $(1-1) 12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 1, 12) = 1$  番目のチップ a から  $(1-1) 12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 12/2, 12) = 6$  番目のチップ b までと、 $Q=2$  で  $(2-1) 12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 1, 12) = 13$  番目のチップ c から  $(2-1) 12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 12/2, 12) = 18$  番目のチップ d まで 1、 $Q=2$  で位相シフト  $2\pi \cdot (1/3)$  ( $P=1$ )、かつ  $Q=1$  で  $(1-1) 12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 1, 12) = 5$  番目のチップ a から  $(1-1) 12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 12/2, 12) = 10$  番目のチップ b までと  $Q=2$  で  $(2-1) 12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 1, 12) = 17$  番目のチップ c から  $(2-1) 12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 12/2, 12) = 17$  番目のチップ d まで 1、位相シフト  $2\pi \cdot (2/3)$  ( $P=2$ ) かつ  $Q=1$  で 1 番目のチップから 2 番目のチップまでと、9 番目チップから 12 番目のチップまでと、 $Q=2$  で 13 番目のチップから 14 番目のチップまでと、21 番目のチップから 24 番目のチップまで 1、つまり  $Q=1$  で  $(1-1) 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 1, 12) = 9$  番目のチップ a から  $(1-1) 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 12/2, 12) = 2$  番目のチップ b までが 1、 $Q=2$  で  $(2-1) 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 1, 12) = 21$  番目のチップ c から  $(2-1) 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 12/2, 12) = 14$  番目のチップ d までが 1 となる。ここで  $Q=1$  では 1 のチップがシフトできる範囲は 1 番目から 12 番目であり、 $Q=2$  で 1 のチップがシフトできる範囲は 13 番目から 24 番目である。この実施例でも図から明らかなように、 $n$  が異なる

他方の信号を受けても受信装置側で擬似搬送波間の干渉はキャンセルされ、それぞれ独立に受信可能である。

[0103] この実施例の光送信装置のろ波器は例えば、実施例 2-5 で図 40 中のろ波器 137 が、0 相、 $\pi$  相、 $\pi/2$  相、 $3\pi/2$  相の 4 個の代わりに、0 相、 $2\pi/3$  相、 $4\pi/3$  相の 3 個のろ波器を具備する。この実施例の光受信装置は、0 相、 $\pi$  相、 $\pi/2$  相、 $3\pi/2$  相の 4 個のろ波器とこれらに対しそれぞれ  $\pi$  位相シフト量の異なる 4 個のろ波器に接続する検出器出力同士を比較する二組の比較器の代わりに、0 相、 $2\pi/3$  相、 $4\pi/3$  相の 3 個のろ波器と、それぞれに対し  $\pi$  位相シフト量の異なる  $\pi$  相、 $5\pi/3$  相、 $\pi/3$  相の 3 個のろ波器と、互いに  $\pi$  位相シフト量の異なるろ波器に接続する検出器出力同士を比較する 3 組の比較器を具備している。

[0104] このようにして、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数が広帯域な光を光周波数軸上で所望の周波数の繰り返し切出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度で MP SK を実現することができる。

15 [実施例 2-7]

図 37-1 に示した光送信装置 100 中の  $\pi$  相ろ波器 133c (137c) と  $3\pi/2$  相ろ波器 133d (137d) を省略し、これに伴い変調器 151, 152 中の切替スイッチ 151a, 152a を省略して 0 相ろ波器 133a (137a),  $\pi/2$  相ろ波器 133b (137b) をそれぞれ変調器 151, 152 中の振幅変化部 151b, 152b に接続し、信号位相振幅量変換器 140 は信号振幅量変換器 112 とし、2 個のデータ組、つまり図 30 中の信号位相量変換器 110 内の直並列変換部 110a とし、一方のビット (データ) と他方のビット (データ) を変調器 151, 152 に対応づけて光強度をビットが 0 で 3 に、ビットが 1 で 1 に制御するようにする。光受信装置 200 では、符号変換器 260 において比較器 241, 242 の出力強度が 3 であればデータ 0 とし、強度が 1 であればデータ 1 とし、これらを直列に出力する。

[0105] このようにすれば実施例 2-4 で述べた光周波数 (波長) 軸上の三角関数の擬似搬送波に対しても、実施例 2-6 で述べた光周波数 (波長) 軸上の方形波状擬似搬送波に対しても、信号点を図 38 (a) 中の第 1 象限の 4 つの信号点とする QAM 変調を行

うことができる。

このように4つの信号点のQAM変調は、用いる2組のろ波器を133b (137b) と133c (137c), 133c (137c) と133d (137d), 133a (137a) と133d (137d) のいずれかにすることにより図38 (a) 中の第2象限、第3象限、第4象限のいずれかにおける4つの信号点をもつQAM変調とすることができる。なおこれらの場合に比較器241, 242の出力が負の時は、その絶対値が3でデータ0に、1でデータ1に変換する。

〔実施例2-8〕

この第2実施形態の実施例2-8は各相の光周波数特性関数の光を出力する複数の光源を用いる。この実施例2-8を適用した光送信装置100を $L=4S$ の場合について図45を参照して説明する。この実施例2-8は光周波数軸上で $FSR/n$ 、ここでは $n=1$ として $FSR$ を1周期とし、各周期における $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ の位相シフト量のそれぞれで2Sチップの光周波数の光を出力する複数の光源を用いて、実施例2-5又は実施例2-6で行ったQPSK又はQAM変調を可能とするものである。

[0106] 図45に示した例では各Sチップの光周波数の光源を二組ずつ使い、各光源は、光の送出強度を制御できるものであり、合計 $L/2S$ の2倍の $L/S$ 組（各組は光周波数幅2Sの単一の広帯域光源また2S個の光源からなる光源の組）の光源を備える。

$L/S$ 組の光源の内、各Sチップの光周波数を送出する $L/2S$ 組の光源は、位相0又は位相 $\pi$ の搬送波を模擬するために用いる。即ち、図46に0相、 $\pi/2$ 相、 $\pi$ 相、 $3\pi/2$ 相の各Sチップの出力光を示すように、光周波数軸上の各周期の最初の連続する光周波数の各Sチップ、つまり0相Sチップを出力する光源120aと、次のSチップ、つまり $\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120bとの出力光により、0相搬送波を模擬し、その次のSチップ、つまり $\pi$ 相Sチップを出力する光源120cと、その次のSチップ、つまり $3\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120dとの出力光により、 $\pi$ 相搬送波を模擬する。また残りの $L/2S$ 組の光源により $\pi/2$ 相搬送波又は $3\pi/2$ 相搬送波を模擬するために用いる。即ち、光周波数軸上の各周期の初めのSチップの次のSチップつまり $\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120eと、その次のSチップ、つまり $\pi$ 相Sチップを出力する光源120fとの出力光により $\pi/2$ 相搬送波を模擬し、その次のSチップ、つまり $3\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120gと、その次のSチップ、つまり0相



20 c と  $3\pi/2$  相光源 120 d とに接続し、これら両光源 120 c と 120 d から強度 1 の光が出力され、つまり  $\pi$  相擬似搬送波の光が強度 1 で出力される。

[0109] データ組中の最下位データ（ビット）により切替スイッチ 154 a が制御され、そのデータが 0 であれば値 3 が格納されたレジスタ 154 b を切替スイッチ 154 d に接続し、データが 1 であれば、値 1 が格納されたレジスタ 154 c を切替スイッチ 154 d に接続し、切替スイッチ 154 がデータ組の上位から 2 番目のデータ（ビット）により制御され、そのデータが 0 であれば切替スイッチ 154 a を  $\pi/2$  相光源 120 e と  $\pi$  相光源 120 f とに接続し、両光源 120 e と 120 f とから強度が 3 の光が出力され、つまり  $\pi/2$  相擬似搬送波の光が強度 3 で出力され、データが 1 であれば、切替スイッチ 154 a を  $3\pi/2$  相光源 120 g と 0 相光源 120 h とに接続し、これら両光源 120 g と 120 h から強度 1 の光が出力され、つまり  $3\pi/2$  相擬似搬送波の光が強度 1 で出力される。

[0110] このようにして、実施例 2-6 で図 37 を参照して説明した光送信装置 100 と同様の光 QAM 変調信号を出力することができることは容易に理解されよう。従って光受信装置 200 としては図 36 中に示したものと同様のものとすればよい。この図 45 に示した光送信装置 100 では光源を直接変調、例えばレーザ光源の駆動電流の大きさを制御すればよく、実施例 2-6 で示したろ波器及び変調器よりなる高価な位相振幅変調部 150 を必要としない。

図 45 中のスイッチ 153a と 154a を省略し、レジスタ 153b, 154b をそれぞれ切替スイッチ 153d, 154d に直接接続し、図 37-1 中の信号振幅量変換器 112 の 2 個データの組の各データで切替スイッチ 153d, 154d を制御することにより、実施例 2-3 で説明したと同様に QPSK 変調を行うことができる。また実施例 2-7 で説明したと同様に、切替スイッチ 153d, 154d を省略して、切替スイッチ 153a, 154a を互いに直交関係にある擬似搬送波の光を出力する 2 組の光源（計 4 つの光源）にそれぞれ接続して、切替スイッチ 153a, 154a を制御することにより、実施例 2-7 で説明した QAM 変調を行うこともできる。なおスイッチ 153a と 154a を省略した例及びスイッチ 153d と 154d を省略した例においては直並列変換部 110c の代りに図 30 中の信号位相量変換器 110 内の直並列変換部 110a が用いられる。

[0111]  $\pi/2$  位相シフト量の異なる二つの光源、例えば、0 相チップ光源と  $\pi/2$  相チップ

波器が異なり、その他は同様である。受信対象の光送信装置の  $i$  番ろ波器 161 と同一のろ波特性をもつ  $i$  番ろ波器 271 と、 $i'$  番ろ波器 161' と同一ろ波特性の  $i'$  番ろ波器 271' と、 $j$  番ろ波器 162、 $j'$  番ろ波器 162' をそれぞれ同一ろ波特性の  $j$  番ろ波器 272、 $j'$  番ろ波器 272' が用いられる。

- 5 [0117] この構成においては比較器 241 では  $i$  番ろ波器 271 の透過光と対応する検出光強度から  $i'$  番ろ波器 271' の透過光と対応した検出光強度とが比較されることとなり比較器 241 の出力を、規準化光周波数  $f$  での値  $D_i(f)$  を想定すると第 1 実施形態で示した式 (3) となる。

$$D_i(f) = C_i(f) - C_{i'}(f) \quad (3)$$

- 10 検出器 231 では  $i$  番ろ波器 271 の透過光の各光周波数成分が全体としての光強度として検出される。他の検出器も同様である。従って送信側の  $i$  番ろ波器 161 のろ波特性関数における規準化光周波数  $f$  での値  $C_i(f)$  と、受信側の  $i$  番ろ波器 271 のろ波特性関数における規準化光周波数  $f$  での値  $D_i(f)$  との内積を、 $i$  番ろ波器 271 のろ波対象に含まれる  $FSR$  分の連続する光周波数領域にわたり積分した  
15 値が零でない有限値  $P$  で、次式 (5)' の関係が成り立つ。

$$[0118] \quad \int C_i(f) D_i(f) df = P \quad (5)'$$

式 (5)' は第 1 実施形態で示した式 (5) を一般化したものに相当する。

- $i$  番ろ波器のろ波特性関数における位相  $f$  での値  $C_i(f)$  と、 $i$  番以外の  $j$  番ろ波器のろ波特性関数に対応する比較器の規準化光周波数  $f$  での値  $D_j(f)$  との内積  
20 をろ波器のろ波対象に含まれる  $FSR$  分の連続する光周波数領域にわたり積分した値が零で、第 1 実施形態で示した式 (6) の関係が成り立つ。

$$\int C_i(f) D_j(f) df = 0 \quad (6)$$

- 従って  $i$  番ろ波器 271 の透過光の強度を検出する検出器 231 の出力から  $i'$  番ろ波器 271' の透過光の強度を検出する検出器 231' を減じた比較器の出力中には  
25  $j$  番ろ波器 162 を透過した光成分は含まれない。このようにして、この実施例 2-9 は、実施例 2-4 と同様に、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができる。

[0119] 更に、 $i$  番ろ波器 161 のろ波特性関数は、光周波数を変数とする周期関数であって

、その周期における規準化光周波数  $f$  で透過率（値） $C_i(f)$  が  $PFR_i (= FCL/n = FSR/n = \Lambda)$  の周期で繰り返す、第1実施形態で示した式（1）の関係が成り立つようにすることが好ましい。

$$C_i(f) = C_i(f + FCL) \quad (1)$$

- 5      このようにすると、光源毎の光周波数の違い及び基準光周波数  $f_s$  の違いによらず、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができる。このようにしてこの実施例 2-9 は、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度での QAM を実現する。実施例 2-1 ~ 2-4, 2-7 で用いた三角関数の擬似搬送波、また実施例 2-5 ~ 2-8 で用いたチップ構成の擬似搬送波も前記式
- 10      (1), (3) ~ (5)' が成立することは理解されよう。なお、チップ構成の場合は  $\int d\theta$  を  $\Sigma$  におきかえた式が成立する。更にろ波器のろ波対象の光周波数における任意の  $f$  から  $f + FSR$  までの区間の積分値が  $FSR$  を 2 で除した値となり、第1実施形態で示した式（2）も成立することは理解されよう。

$$[0120] \quad \int C_i(f) df = FSR/2 \quad (2)$$

- 15      実施例 2-1 ~ 2-8 における 0 相、 $\pi$  相擬似搬送波はそれぞれ実施例 2-9 の  $i$  番,  $i'$  番擬似搬送波と対応し、 $\pi/2$  相、 $3\pi/2$  相擬似搬送波はそれぞれ実施例 2-9 の  $j$  番,  $j'$  番擬似搬送波と対応している。つまりこの実施例 2-9 がこの発明において擬似搬送波の一般的特性を示したものであり、その他の実施例は実施例 2-9 を特化したものともいえる。

20      [実施例 2-10]

チップ構成の擬似搬送波を用いる場合の他の例を説明する。図 47 中のろ波器 161', 162' を省略し、信号位相振幅量変換器 111 の代りに括弧書きで示すように信号振幅量変換器 112 を用いる。その他の構成は同様であるがろ波器 161, 162 のろ波特性を次のようにする。

- 25      [0121] 光源の光を受けて、光送信装置の具備する  $i$  番ろ波器 161 がろ波対象とする  $FSR/n$  ( $n = 1$  以上の整数) の光周波数領域で、その光送信装置の具備する  $i$  番ろ波器 161 と、 $i$  番以外のその光送信装置又は同一伝送路を共有する他の光送信装置の具備する  $j$  番ろ波器 162 とがろ波対象とする  $FSR$  の光周波数領域で同時にオン（透過）

となるチップの数と、光送信装置の具備する  $i$  番ろ波器 161 がろ波対象とする FSR の光周波数領域でオン（透過）となり、 $i$  番以外のその光送信装置又は同一伝送路を共有する他の光送信装置の具備する  $j$  番ろ波器 162 がろ波対象とする FSR の光周波数領域でオフ（非透過）となるチップの数とが同一である。つまり  $i$  番ろ波器 161 と  $j$  番ろ波器 162 とで同時（同一チップ位置）でオン（透過）となるチップ数と、同一チップ位置で  $i$  番ろ波器 161 でオンになり、 $j$  番ろ波器 162 でオフとなるチップ数とが同一となる。

[0122] 従って、基準波長（基準周波数）からの波長差（周波数差）に相当する位相  $\Theta$  のチップでの  $i$  番搬送波の値を  $C_i(\Theta)$ 、 $\Theta = 2\pi f$  とすると、 $C_i(\Theta) = C_i(\Theta + \text{FSR}/n)$  であり、 $C_{i'}(\Theta) = 1 - C_i(\Theta)$  とすると、 $\sum C_i(\Theta)(C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta))$  ( $\sum$  は  $\Theta = h\delta\Theta$  として、 $h=0$  から  $\text{FSR}/\delta\Theta - 1$  まで加えた区間 FSR の総和) が有限値であり、 $i$  番搬送波以外の  $k$  番搬送波 ( $k$  は  $i$  以外の擬似搬送波の番号) を表わす関数の位相  $\Theta$  における強度を  $C_k(\Theta)$  とすると、 $\sum C_k(\Theta)(C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) = 0$  ( $\sum$  は  $\Theta = h\delta\Theta$  として、 $h=0$  から  $\text{FSR}/\delta\Theta - 1$  まで加えた区間 FSR の総和) の関係が成り立ち、 $j$  番搬送波を表わす関数の位相  $\Theta$  における強度を  $C_j(\Theta)$  とすると、 $C_j(\Theta) = C_j(\Theta + \text{FSR}/n)$  であり、 $C_{j'}(\Theta) = 1 - C_j(\Theta)$  とすると、 $\sum C_j(\Theta)(C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta))$  ( $\sum$  は  $\Theta = h\delta\Theta$  として、 $h=0$  から  $\text{FSR}/\delta\Theta - 1$  まで加えた区間 FSR の総和) が有限値であり、 $j$  番搬送波以外の  $m$  番搬送波 ( $m$  は  $j$  以外の擬似搬送波の番号) を表わす関数の位相  $\Theta$  における強度を  $C_m(\Theta)$  とすると、 $\sum C_m(\Theta)(C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) = 0$  ( $\sum$  は  $\Theta = h\delta\Theta$  として、 $h=0$  から  $\text{FSR}/\delta\Theta - 1$  まで加えた区間 FSR の総和) が成り立つ。

[0123] 光受信装置 200 は実施例 2-7 で説明したものと同様のものとする。このようにして QAM を実現することができる。この実施例 2-10 に示すものも、前式 (1) ~ (4) にて  $\int d\Theta$  を  $\sum$  に変更した式が成立する。この実施例で用いるろ波器として、例えば  $\text{FSR}/n$  に相当するチップ数をアダマール符号の符号長 FCL で除した数のチップをアダマール符号を構成する 1 ビットの値に合わせて透過率 1/透過率 0 としたろ波器が適用できる。更に、アダマール符号を連続して結合した符号に対応して FSR 以上の光周波数をろ波するろ波器を適用する場合、任意の FSR の光周波数の領域で前式 (1) ~ (5) にて  $\int d\Theta$  を  $\sum$  に変更した式が成立する。

5

10

15

20

25

[0127] 以上示したようにこの実施例も、実施例 2－7 と同様に、受信側で受信対象  
外の他

で用い、その光信号が合波器171で合波された光信号は逆離散フーリエ変換された信号と等価になる。

[0133] 光受信装置200に用いるろ波器のろ波特性関数の周期をそれぞれFSR, FSR/2, ..., FSR/Kとする。このような関係では受信光信号が分岐されて光  
5 受信装置200<sub>1</sub>, ..., 200<sub>K</sub>により離散フーリエ変換されて元の伝送信号に戻されたと同等の作用をすることになる。

このようにして、この実施例2-11は、擬似搬送波同士の直交関係を用いて、離散逆フーリエ変換に対応する複数擬似搬送波を用いて擬似OFDM（直交周波数分割多重）を実現することができる。光送信装置100が基本周期から基本周期のK/2  
10 倍の周期までの周期で、その各周期毎に位相が $\pi/2$ ずれたろ波特性のろ波器を具備する光送信装置100<sub>1</sub>, ..., 100<sub>K</sub>を用いた場合、各光送信装置100<sub>1</sub>, ..., 100<sub>K</sub>において $\pi/2$ 位相がずれたろ波特性の一方がコサイン関数とすると他方はサイン関数となり、光送信装置100の出力は $\sum (a_n \cos((n/FSR)\Theta) + b_n \sin((n/FSR)\Theta))$ で表せる。ここで、nは基本周期に対するろ波器周期の倍  
15 数の値、a<sub>n</sub>とb<sub>n</sub>はそれぞれの擬似搬送波で搬送する伝送信号である。

[0134] なお、基本周期を含む任意の周期nに対応する光送信装置100<sub>n</sub>及び光受信装置200<sub>n</sub>を備えない場合も、該当するa<sub>n</sub>又はb<sub>n</sub>の値が0であることに  
し、光送信装置100の出力の式が成り立ち、この実施例の一般性を損なわない。

この実施例は通常のWDM（波長分割多重）と異なり用いる波長同士を重ねることが  
20 できるので、通常のWDMと比べてガードバンドが不要であるため、波長利用効率を向上できる効果がある。

なお、図48-1において光送信装置100<sub>1</sub>, ..., 100<sub>K</sub>の光源120を単一の光源で共用してもよい。また、この実施例2-11では擬似QPSKを適用した光送信装置100<sub>1</sub>, ..., 100<sub>K</sub>を複数用いたが、前述した擬似MPSKあるいは擬  
25 似QAMを適用した光送信装置を複数用いてもよい。更にろ波特性関数としては三角関数のみならず、実施例2-9で説明した性質をもつ関数であつてもよい。従って実施例2-5～2-8で説明したチップ構成の擬似搬送波を用いる光送信装置100、光受信装置200を複数用いてもよい。この場合は、L/4の所定の約数であるSを基準のSとした場合に、その基準のSの約数に相当するSを用いたろ波特性をもつろ

波器を具備する光送

信装置 100<sub>1</sub>, ..., 100<sub>k</sub>、光受信装置 200<sub>1</sub>, ..., 200<sub>k</sub>を用いる。即ち、  
 基準の S と各光送信装置 100<sub>1</sub>, ..., 100<sub>k</sub> のろ波器のろ波特性の S は、フーリ  
 エ変換により生成される基本周期と倍周期の組に対応する。このようにして、この実  
 施例 11 の光送信装置 100 も逆離散フーリエ変換した信号を送出し、光受信装置 2  
 00 は離散フーリエ変換して元の伝送信号に戻すものとなる。

[0135] 上述した各実施例における光送信装置 100 に用いられるろ波器は、何れも  
 図 33 を参照して説明したように、ろ波器のろ波特性を変調器の出力により制御する  
 ようにしたものでもよく、固定的に設定されたろ波特性をもつ複数のろ波器を選択す  
 る構成であってもよい。従ってろ波器を変調器により制御するということはろ波特性  
 を制御するという場合と、ろ波器の選択を制御する場合とを意味するものである。

信号位相量変換器 110、信号位相振幅量変換器 111 及び信号振幅量変換器 11  
 2 は信号データに応じて、ろ波特性の制御やろ波器の選択制御、光送信装置から出力  
 される光の強度を制御するためのパラメータに変換するものであるから、これらを総  
 称して信号変調値変換器といふことができ、これらから出力される位相量、振幅量な  
 どは変調値といえ、かつその各成分はパラメータと呼ぶことができる。

[0136] 以上のように、光周波数軸上の周期関数により、MPSK, QAMなどを行  
 う第 2 実施形態は先にも一般的な構成を説明したが次のようにも説明できる。1 又は  
 複数の光源により光周波数 F<sub>st</sub> から F<sub>la</sub> までの間における、光周波数幅 F<sub>SR</sub> の範  
 囲で、i 番目の光周波数特性関数 C<sub>i</sub>(f) が、その繰り返し周期に対応する整数 N  
 i で最小公倍数の自然数倍である光周波数幅 F<sub>SR</sub> を除した値を光周波数幅 PFR<sub>i</sub>  
 とすると、

$$C_i(f) = C_i(f + PFR_i) \text{ であり、}$$

$$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df \text{ であり、}$$

i 番目以外の j 番目の光周波数特性関数 C<sub>j</sub>(f) に対し、

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) (1 - C_j(f)) df \text{ であり、}$$

F<sub>SR</sub> 以下の任意の光周波数幅を、C<sub>i</sub>(f) の周期 PFR<sub>i</sub> で割算した余りを Δ  
 f とし、位相 2π (Δf / PFR<sub>i</sub>) を C<sub>i</sub>(f) に対する位相差とすると、

$$C_i'(f) = C_i(f + \Delta f) \text{ であり、}$$

つまり C<sub>i'</sub>(f) は C<sub>i</sub>(f) に対し、位相が 2π (Δf / PFR<sub>i</sub>) 異なるものであり、



$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  であり、  
 入力 2 値データ系列を、各データごとに複数の分離データ系列に順次繰り返し振分け  
 て分離し、これら分離された各分離データ系列ごとに、かつその各データごとにその  
 値に応じて上記  $i$  番目の光周波数特性関数の第  $i$  光信号及び上記  $j$  番目の光周波数特  
 5 性関数の第  $j$  光信号に対し、位相又は／及び振幅を制御した第 1 光信号及び第 2 光信  
 号を合成し光符号信号として送信する。

[0137] 光周波数特性関数  $C_i(f)$  の例としては  $PFR_i$  が同一で  $\Delta f$  が  $PFR_i$   
 / 4 又は  $-PFR_i / 4$  の三角関数である。

10 他の例としては、任意の整数  $S$  と  $N_i$  の積の 2 倍  $2SN_i$  で  $FSR$  を割算した値  $L$   
 の連続する光周波数部分に  $FSR$  を分割し、その各長さ  $L$  の光周波数部分の連続する  
 $S$  個の光周波数を強度 1 と、それに続く  $S$  個の光周波数を強度 0 とすることを  $N_i$  回  
 繰り返す関数、あるいは強度 1 の連続する  $S$  個の光周波数の位置を所定量順次移動さ  
 せた関数を  $C_i(f)$  とする。

[0138] この第 2 実施形態も、図 2 (a), 図 2 (b), 図 3 (a), 図 3 (b) に示  
 15 した 1 対  $N$  光通信網  $PON$  に対して適用できる。また第 1 実施形態において、図 1 5  
 や図 2 8 を参照して説明した単一プレーナ光波回路基板に  $i$  番目の符号器が  $j$  番目の  
 復号器のいずれかの透過光を用いるプレーナ光波回路基板に対する温度制御技術も第  
 3 実施形態に適用できる。更に第 1 実施形態において、図 2 1, 図 2 2 を参照して説  
 明したアレー導波路格子形光合分波器  $AWG$  を用いる光符号化方法を、第 3 実施形態  
 20 の光送信装置に適用することもできる。

#### 〔第 3 実施形態〕(反射型光通信)

この発明の第 3 実施形態は複数の加入者装置を光ファイバ伝送系を介して、中央局  
 に收容する 1 対多接続光網 (Passive Optical Network:  $PON$ )、例えば図 2 又は図  
 3 に示した光通信システムにこの発明を適用したものである。

#### 25 〔実施例 3-1〕

この第 3 実施形態の基本概念の機能構成を図 4 9 を参照して説明する。2 値データ  
 に応じて変調 (符号化) された下り信号光が、光ファイバ 410 を通じ、更に光入出力  
 ポート 412 を介して光入出力共用器 420 のポート 420a に入力され、光入出力共用器

20のポート420bより切替器430に入力される。切替器430は、端子431  
 よりの上りデータ系列により制御され、下り信号光はマーク符号器440Mあるいは  
 スペース符号器440Sに入力される。マーク符号器440M及びスペース符号器4  
 40Sの出力光は光合成器450を通じて光入出力共用器420のポート420cに  
 5 入力され、光入出力共用器420のポート420aより上り信号光として光入出力ポ  
 ート412を介して光ファイバ410へ出力される。光入出力共用器420として図  
 49では破線で示すように光サーキュレータを用いているが、光方向性結合器、光合  
 分波器などを用いてもよい。しかし、反射光とのコヒーレントクロストークにより上  
 り信号光の強度変調を避けるため、また光損失を少なくするために光入出力共用器42  
 10 0としては光サーキュレータが好ましい。光合成器450は光合分波器あるいは切替  
 器430と破線で示すように連動制御される切替器などを用いることができ、要はマ  
 ーク符号器440Mの出力光と、スペース符号器440Sの出力光とを光入出力共用  
 器420のポート420cへ入力するものであればよい。切替器430は端子431  
 よりのデータがマークであれば入力された光をマーク符号器440Mに入力し、スペ  
 ースであればスペース符号器440Sに入力する。光合成器450として入力端子4  
 15 31のデータにより制御される切替器を用いる場合は切替器430は光分岐器として  
 もよい。

[0139] マーク符号器 440M 及びスペース符号器 440S は下り信号光の光周波数（波  
 長）の全区間において、光周波数（波長）を変数とする互いに異なる関数で表わされ  
 20 る信号光を出力し、例えば光ろ波器として構成される。入力する下り信号光と出力す  
 る上り信号光の光周波数特性（光符号）は次に示す関係をもつ関数である。

下り信号光がマークであるときの光周波数  $f$  に対する光強度の関数を  $IM(f)$ 、  
 スペースであるときの関数を  $IS(f)$ 、上り信号光がマークであるときの光周波数  
 $f$  に対する光強度の関数を  $OM(f)$ 、スペースであるときの関数を  $OS(f)$  とそ  
 25 れぞれする。関数  $IM(f)$  と関数  $OM(f)$  との積の  $f$  に関する積分又は総和と、  
 関数  $IM(f)$  と関数  $OS(f)$  の積の  $f$  に関する積分又は総和とが等しく、かつ、  
 関数  $IS(f)$  と関数  $OM(f)$  の積の  $f$  に関する積分又は総和と、関数  $IS(f)$   
 と関数  $OS(f)$  の積の  $f$  に関する積分又は総和とが等しい。即ち次に示す(22)  
 式と(23)式のいずれかと(24)式と(25)式のいずれかとが成立する関係にある。

$$[0140] \quad \int IM(f) OM(f) df = \int IM(f) OS(f) df \quad (22)$$

$$\Sigma IM(f) OM(f) = \Sigma IM(f) OS(f) \quad (23)$$

$$\int IS(f) OM(f) df = \int IS(f) OS(f) df \quad (24)$$

$$\Sigma IS(f) OM(f) = \Sigma IS(f) OS(f) \quad (25)$$

- 5      ここで、 $\int df$  は下り信号の光周波数の区間での積分を、 $\Sigma$  は下り信号の光周波数の区間での総和を意味する。式(22)、式(24)はデジタル演算により求める場合はそれぞれ式(23)、式(25)と同様な演算を行うことになる。

- [0141] これらの関係はマーク関数の光強度とスペース関数の光強度が互いに等しく、かつマーク又はスペースの下り信号光を構成する周波数成分の光の半分に相当する成分をマーク又はスペースの上り信号光として構成することができることを表している。  
10      従ってこの光通信装置は、下り信号光の変調度を下げることなく、下り信号光がマークでもスペースでも、同一の光パワーで変調した上り信号光を出力することが出来る。

- 前記関数の例としては図6に示したものをを用いることができる。図6(a)～(c)は三角関数の例であり、同一振幅であり、光周波数区間  $f_0 \sim f_L$  を光基準周波数  $f_0 = f_s$  で規格化して規格化光周波数  $0 \sim 1$  において、当該区間に含まれる繰返し周期が1, 2, 3の場合でそれぞれ位相が  $\pi/2$  ずれた実線と破線あるいは、  
15      図6(a)中に示すように実線に対し、 $\pi/4$  程度ずれた1点鎖線などの中の1つをマークの関数とし、これに対し  $\pi$  ずれた関数をスペースの関数とし、異なる方向又は異なる光通信装置に対するものは図6中に示す関係をもつ他の関数をマーク関数とし、これと位相が  $\pi$  異なる関数をスペース関数とする。あるいは図50に示すように周波数区間  $f_0 \sim f_L$  (規格化周波数  $0 \sim 1$ ) を  $L$  分割した  $L$  個のチップ(光周波数)とし、チップごとに光強度を1又は0とし、図50(a)に示す関数を例えばマークの関数とする時、スペースの関数は例えば図50(b)に示すように、強度が1のチップ数は同一であり、かつ下り信号光のマーク又はスペース関数の強度1のチップの半分以上を上り信号光に用いることができる。図50(b)はその前半は図50(a)の前半と同一であり、後半は図50(a)の後半を反転したものとなっている。  
20      各チップの例として光強度を三角形にて図示したが、理想的には光周波数特性が各チップでフラットな矩形がのぞましい。

- [0142] マーク又はスペース符号器 440M又は 440S のろ波関数として、三角関数を用いる  
30

場合の符号器としては例えば図7に示した光路長が異なる2組の方路41, 42とこれら両端にそれぞれ結合したカプラ43, 44とからなるマッハツエンダ干渉計を用いることができる。マーク又はスペース符号器440M又は440Sのろ波関数として図50に示したようなチップ列を構成する場合の符号器の構成例を図51に示す。入力光は光合分波器5に入力され、光合分波器5は各チップの周波数光信号を異なるポートに出力し、かつ光周波数 $\Delta F$ の整数倍離れた光成分を同一ポートに出力する。例えば符号器440M又は440Sの出力光が4つのチップごとに同一パターンを繰り返す場合、光合分波器5のポート1, 2, 3, 4から光周波数 $F_1 + q\Delta F$ 、 $F_2 + q\Delta F$ 、 $F_3 + q\Delta F$ 、 $F_4 + q\Delta F$  ( $q = 0, 1, 2, \dots$ )の各成分がそれぞれ出力される。これらのうち強度1のチップと対応するポートの出力をカプラ6で合波して出力すればよい。このような光合分波器5としては、図21中のろ波器84と同様にAWG (Array Waveguide Grating: アレー導波路格子形光合分波器)を用いることができる。

[0143] 切替器430は端子431よりのデータがマークであれば入力された光をマーク符号器440Mに入力し、スペースであればスペース符号器440Sに入力する。光合成器450として入力端子431のデータにより制御される切替器を用いる場合は切替器430は光分岐器としてもよい。上り信号光と下り信号光が異なる光ファイバにより伝送されてもよい。例えば図49中に破線で示すように光合成器450より出力される上り信号光を光ファイバ411に入力し、光入出力共用器420を省略してもよい。あるいは図52に示すように、マーク符号器440M及びスペース符号器440Sの各出力光をそれぞれ全反射する全反射器451M及び451Sを設け、マーク符号器440M及びスペース符号器440Sの各出力光がそれぞれマーク符号器440M及びスペース符号器440Sを通り、更に切替器430を通過して光ファイバ410に入力されるようにしてもよい。

[0144] 図52に示した装置は図49に示したものと比べ、光入出力共用器420を省略でき、しかも光合成器450を削減して部品点数を更に削減することが出来、図49に示したもので切替器と切替器の組合せを用いる場合に比べれば、変調のために操作する部品が減少する効果があり、また図49で二組の切替器の替わりに、切替器と光合波器の組合せを用いる場合と比べれば、光合波器による光損失がなくなる効果がある。

また、図49及び図52では、下り信号光の受信回路について示していないが、切替

る例である。図 53 を参照して実施例 3-2 を説明する。光ファイバ 410 よりの下り信号光は、光入出力ポート 412 より光入出力共用器 420 を通じ更に光分岐器 421 と 422 を順次通じて下りマーク復号器 461M と下りスペース復号器 461S に分岐入力され、これらの復号器 461M 及び 461S をそれぞれ通過した光は光検出器 470M 及び 470S により電気信号に変換され、これら電気信号は比較器 480 で比較され、例えば差分がとられ、その大きさが所定値以上であれば下りデータ系列として出力端子 481 に出力される。

[0147] 第 1 の光分岐器 421 で分岐された他方の下り信号光は切替器 430 に入力され、図 49 に示したと同様に、入力端子 431 よりの上りデータ系列により変調されて上り信号光として光入出力共用器 420 を介し、更に光入出力ポート 412 より光ファイバ 410 に出力される。光合成器 450 として端子 431 のデータにより制御される切替器を用いる場合は切替器 430 の代りに光分岐器を用いてもよい。

この実施例 3-1 ではマークの上り信号光からスペースの上り信号光を引いたものと、マークあるいはスペースの下り信号光との積の光周波数についての積分又は総和が零となり、つまりこれらの光周波数特性関数は互いに擬似的に直交とされる。更に詳しく述べると、下り信号光は、マーク又はスペースの何れか一方の光周波数関数と同一の光周波数特性をもつ自然数  $NI$  組の入力光であり、 $i$  番目のマークの光強度の関数を  $IM_i(f)$ 、スペースの光強度の関数を  $IS_i(f)$  とすると、 $NI$  組に含まれる  $i$  番目の下り信号光と  $i$  番以外の  $j$  番目の下り信号光との関係が次に示す (26) 式又は (27) 式を満たす。

$$\int IM_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) df = \int IS_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) df = \int IM_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = \int IS_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = 0 \quad (26)$$

$$\sum IM_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) = \sum IS_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) = \sum IM_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) = \sum IS_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) = 0 \quad (27)$$

かつ、 $NI$  組に含まれる  $i$  番目の下り信号光と  $i$  番目の上り信号との関係は次に示す (28) 式又は (29) 式を満たす。

$$\int IM_i(f) (OM_i(f) - OS_i(f)) df = \int IS_i(f) (OM_i(f) - OS_i(f)) df = \int OM_i(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = \int OS_i(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = 0 \quad (28)$$

信の障害とならない。

[0152] このような特性をもつ他の関数として、下り信号光の光周波数区間  $f_0 \sim f_L$  (規格化光周波数  $0 \sim 1$ ) を例えば図 54(a)に示すように  $L=4s$  分割し、 $i$  番目マークの関数  $M_i(f)$  は最初の  $s$  チップを透過 (光強度 1)、次の  $s$  チップを不透過 (光強度 0) とすることを  $n=2$  回繰り返す、 $i$  番目のスペースの関数  $S_i(f)$  は最初の  $s$  チップを透過 (光強度 1)、次の  $s$  チップを不透過 (光強度 0) とすることを  $n=2$  回繰り返す。図 54(b)に示すように  $f_0 \sim f_L$  を  $L=6s$  分割し、 $i$  番目のマークの関数  $M_i(f)$  は最初の  $s$  チップを透過、次の  $s$  チップを不透過とすることを  $n=3$  回繰り返す、 $i$  番目のスペースの関数  $S_i(f)$  は最初の  $s$  チップを透過、次の  $s$  チップを不透過とすることを  $n=3$  回繰り返す。一般的には光周波数区間の  $f_0$  から  $f_L$  を  $L$  分割した  $L$  チップの光周波数で示されるろ波特性関数 (光強度周波数特性関数) であり、 $L$  を 2 で割った数が  $s$  の倍数とし、 $i$  番目のマークのときのろ波特性関数を  $IM_i(f)$  としスペースのときのろ波特性関数を  $IS_i(f)$  とするとき、 $i$  番目のろ波特性関数  $IM_i(f)$  は  $s$  チップを透過とし、それに続く  $s$  チップを不透過とすることを少なくとも  $L$  を  $2s$  で除した回数 ( $n$  回) 繰り返す関数であり、 $i$  番目のろ波特性関数  $IS_i(f)$  は  $s$  チップを不透過とし、それに続く  $s$  チップを透過とすることを少なくとも  $L$  を  $s$  で除した回数 ( $n$  回) 繰り返す関数である。なお、例示した関数は  $f_0$  から、連続  $s$  チップ透過チップ又は不透過チップが続いているが、図 54(c)に  $L=6s$ 、 $n=3$  の場合に示すように  $s$  に満たない任意の整数  $s_0$  のチップだけ透過チップ又は不透過チップ続いてから、 $s$  チップを不透過又は透過とし、それに続く  $s$  チップを透過又は不透過とすることを、 $L$  を  $2s$  で除した数から 1 引いた数だけ繰り返す、その後  $(s-s_0)$  チップ透過又は不透過とする関数でもよい。つまり前記関係があるもの、例えば図 54(b)に示す関数に対し図 54(c)のように位相をずらしたものでもよい。前記 2 次のアダマール行列の符号 2 は  $L=4$ 、 $s=1$ 、 $n=2$  であり、符号 3 は  $L=4$ 、 $s=2$ 、 $n=1$  であり、符号 4 は符号 3 を位相  $\pi/4$  だけ左に巡環シフトしたものである。なおこれらの関係は第 2 実施形態における実施例 2-6 で示した特性関数と同様であり、例えば  $IM_j(f)$  は  $C_i(f)$  と、 $IS_i(f)$  は  $(1-C_i(f))$  と、 $OM_j(f)$  は  $C_j(f)$  と、 $OS_j(f)$  は  $(1-C_j(f))$  とそれぞれ対応する。

[0153] これらのろ波特性がこれら関数をもつ符号器 441M 及び 441S、復号器 461M 及

うに送信に用いる下り信号光を増幅する光増幅器 423b の増幅率を選定する。光増幅器 423b は光合成器 450 の出力側に挿入してもよい。この場合、符号器 441M 及び 441S で符号化された光のみを増幅するため、効果的に増幅することができる。同様に光増幅器 423a の代りに下りマーク復号器 461M 及び下りスペース復号器 461S の出力側に光増幅器 423aM 及び 423aS を挿入すれば復号された信号光のみを効率的に増幅することができ、かつマーク用光増幅器 423aM とスペース用光増幅器 423aS をそれぞれ独立したハードリミッタとして用いることもできる。

[0160] 光合成器 450 として、図 57 に示すように、上りマーク符号器 441M 及び上りスペース符号器 441S の各出力信号光をそれぞれ光増幅器 452M 及び 452S を通じて光合波器 453 で合波し、入力端子 431 よりのデータがマークであれば光増幅器 452M の増幅率を高くし、光増幅器 452S の増幅率を低くし、データがスペースであれば、光増幅器 452M の増幅率を低くし、光増幅器 452S の増幅率を高くして、マークとスペースに応じた符号光を選択出力するように、光増幅器 452M 及び 452S の両増幅率を端子 431 のデータにより制御してもよい。このようにして上り信号光の光強度を十分大きくすることもできる。この構成の場合は切替器 430 として光分岐器を用いてもよい。その場合は光通信装置として切替器を一切使用しないで済む効果がある。以上のように図 53 に示した光通信装置に光増幅器を用いる実施例を述べたが、この光通信装置に用いる符号器及び復号器の周波数特性関数としては光周波数チップ系列関数のみならず、実施例 3-3 で述べた三角関数でもよい。更に図 52 に示したように符号器の後段に全反射器を用い、光入出力共用器 420 を省略し、かつ下り信号光を復号する受信回路を備える光通信装置にもその各所に光増幅器を挿入して、同様に効果的に作用させることもできる。その例を、図 58 に挿入可能な光増幅器を破線で図 52、図 53、図 57 と同一参照番号を付けて示し、重複説明は省略する。この場合光入出力ポート 412 と直接接続される光分岐器 421 は光合分波器とされ、マーク符号器 441M 及びスペース符号器 441S に対し、全反射器 451M 及び 451S と反対側に挿入した光増幅器 452M 及び 452S の各増幅率をデータにより制御してマーク信号光及びスペース信号光を選択する場合は、切替器 430 の部分は光合分波器とされる。マーク符号器 441M 及びスペース符号器 441S を一体化した符号器 441 とす

る場合は符号器 4 4 1 のマーク信号光出力ポート及びスペース信号光出力ポートと全反射器 4 5 1 M 及び 4 5 1 S との間に光増幅器 4 5 2 M 及び 4 5 2 S を挿入し、上りデータ系列によりこれら光増幅器 4 5 2 M 及び 4 5 2 S を制御する場合は符号器 4 4 1 の入力ポートが光合分波器 4 2 1 に直接接続され、光合分波器 4 3 0 を省略できる。

- 5 この場合、光増幅器 4 5 2 M 及び 4 5 2 S の替りに上りデータにより互いに逆にオンオフ制御されるスイッチを用いてもよく、要は上りデータに応じてマーク信号光又はスペース信号光のいずれかを選択すればよい。

[実施例 3-5]

- 10 上述では下り信号光に対する受信復号回路と、上り信号光のための送信符号化回路とを並列に設けたが、これらを継続的に設けてもよい。以下に送信符号化回路を光入出力ポート 4 1 2 つまり光ファイバ 4 1 0 側として、その送信符号化回路に対し、受信復号回路を継続的に設ける実施例 3-5 を図 5 9 を参照して以下に説明する。

- 15 [0161] 光入出力ポート 412 には必要に応じて光増幅器 442 を介して光合分波器 430 が接続される。従って光ファイバ 410 からの下り信号光は光合分波器 430 を介して符号器 441M 及び 441S に入力される。先に述べたようにマーク信号光とスペース信号光は各光周波数の光強度が相補的であり、かつ光周波数範囲  $f_0 \sim f_L$  の平均光強度は互いに等しく、下り信号光中のマーク信号又はスペース信号光を構成する光周波数成分の半分に相当する光周波数を上り信号光としてのマーク信号光又はスペース信号光としている。

- 20 従って下り信号光中の有効光周波数成分の半分は符号器 441M 及び 441S を透過し、これら透過光は切替器 450 で合成されて光合分波器 424 に入力され、光合分波器 424 にて全反射器 451 と光分岐器 422 に分岐される。光分岐器 422 に入力された下り信号光は復号器 461M 及び 461S に入力される。この下り信号光の光周波数特性がこれら復号器 461M 又は 461S のろ波特性関数と整合したものであれば、前述したように、少くとも光ファイバ 410 における下り信号光中の半分の光周波数成分が正しく透過し、従って比較器 480 より復号したデータを得ることができる。

[0162] 一方、全反射器 451 で反射された光は光合分波器 424 を通過して光合成器 450 に入力される。切替器 450 は端子 431 より上りデータ系列により、切替制御されている



から、先に下り信号光が符号器 4 4 1 M又は 4 4 1 Sを通過した際に符号化された信号光が全反射器 4 5 1で反射され、同一の符号化を受けて光合分波器 4 3 0に入力され、これより上り信号光として光ファイバ 4 1 0に入力される。この上り信号光は符号器 4 4 1 M又は 4 4 1 Sにより 2回符号化され、その符号化は同一特性であるが、  
5 最終的の上り信号光としての符号化が、先の光ファイバ 4 1 0から切替器 4 5 0へ通過する際に符号化され、全反射器 4 5 1により反射された光により影響されて上り信号光の光周波数特性が乱されるおそれがある。そのような場合は光ファイバ 4 1 0へ入力する上り信号光を光増幅器 4 4 2により飽和するまで増幅するとよい。ただしこの場合は信号光の関数としてチップ系列を用いる場合に限られる。光合分波器 4 3 0  
10 を切替器とし、切替器 4 5 0を光合分波器としてもよい。その他前述した各種変形を同様に施すことができる。なお切替器 4 5 0を図 5 7に示した構成とし、その光増幅器 4 5 2 M及び 4 5 2 Sにより、光ファイバ 4 1 0へ入力される上り信号光を飽和増幅して、光増幅器 4 4 2の代用も兼ねるようにしてもよい。更に光増幅器 4 4 2を図 5 9中に破線で示すように、全反射器 4 5 1の前段に配してもよい。この場合は S O  
15 Aの一端に全反射コーティングを施し、光増幅器と全反射器を単一部品として構成することができる。

[実施例 3-6]

この実施例 3-6 は実施例 3-5 における光合分波器 424 と全反射器 451 を省略し、例えば図 60 に示すようにする。符号器 441M及び 441 Sを透過した下り信号光は切替器  
20 450 より一部反射器 454 に入力され、一部反射器 454 で下り信号光の一部が反射され、一部が透過して光分岐器 422 に入力される。この場合も、下り信号光を正しく復号することができるが、かつ下り信号光の一部を利用して上り信号光を生成できることは容易に理解されよう。この例では図 59 に示した場合と比較して光合分波器 424 を省略でき、光合分波器 424 における損失がなくなる効果がある。破線で示すように光増幅器  
25 442 を一部反射器 454 の切替器 450 側に挿入してもよい。この場合は、例えば S O A の一端に一部反射するコーティングを施すことにより光増幅器と一部反射器を単一部品として構成することができる。切替器 450 を図 57 に示した構成とし、その光増幅器 451M及び 451 Sを光増幅器 442 として兼用させてもよい。その他、前述した各種変形を同様にすることもできる。

器441に入力される。その他の構成及び動作は図56に示したものと同様である。光検出器471M及び471Sの各出力光をマッハツエンダ干渉計により合波しているため、図61中の光合波器472を用いる場合より損失を減少できる。

[0164] 以上述べた第3実施形態を一般的に説明すると以下のようになる。光送信装置からの下り信号光を送信し、その下り信号光を反射型光通信装置で受信し、受信下り信号光の一部を用いて下りデータ系列を再生すると共に、受信下り信号の一部に対し、上りデータ系列により変調して上り信号として上記光送信装置へ送信する光通信システムを前提とする。

受信光符号信号の光強度周波数特性を関数 $C_i(f)$ または $C_k(f)$ とし、上り符号器441のろ波光周波数特性関数を $C_j(f)$ 又は $C_m(f)$ とし、光周波数 $F_{st}$ から $F_{la}$ までの範囲に含まれる任意の光源光周波数幅 $F_{SR}$ 分の次式の内積積分を満たす、

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot C_m(f) df$$

$$\int C_k(f) \cdot C_i(f) df = \int C_k(f) \cdot C_m(f) df$$

[0165] 更に内積積分 $\int C_i(f) \cdot C_j(f) df$ と $\int C_k(f) \cdot C_i(f) df$ の少なくとも一方はゼロでない。つまり $C_i(f) > 0$ ,  $C_k(f) > 0$ のいずれかが成立つ。

光周波数 $F_{st}$ から $F_{la}$ までの範囲において各符号の関数の繰り返し周期 $P_{FRi}$ の公倍数を符号長 $F_{CL}$ およびその自然数倍を光周波数幅 $F_{SR}$ とすると、

$C_i(f) = C_i(f + P_{FRi})$ であり、

$$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{ であり、}$$

$i$  番目以外の  $j$  番目の光周波数特性関数  $C_j(f)$  に対し、

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{ であり、}$$

## 請求の範囲

[1] (補正後) 所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲で光周波数幅  $F_{SR}$  の光信号を光源より出射し、

その光信号を光ろ波周波数特性が少なくとも所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲で  $i$  番目符号に対応する関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_i(f))$  であるろ波手段の少なくとも一方からなる符号器に供し、 $i$  番目の 2 値データ系列の各データごとに、その値に応じた、 $i$  番目符号の関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_i(f))$  の少なくとも一方を、光強度周波数特性とした光符号信号を、所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲で少なくとも光周波数幅  $F_{SR}$  分、符号器より生成送信する光送信装置と、

ここで関数  $C_i(f)$  は光周波数  $f$  を変数とし、 $C_i(f) = C_i(f + PFR_i)$  が成立する周期関数であり、

光周波数幅  $F_{SR}$  は所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期  $PFR_i$  の公倍数の光周波数幅であり、

関数  $C_i(f)$  の反転関数は、1 からこの関数  $C_i(f)$  を減じた関数であり、

関数  $C_i(f)$  と、反転関数  $(1 - C_i(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$  の関係が成立し、

$\int df$  は  $F_{st}$  から  $F_{la}$  までの任意の区間  $F_{SR}$  における  $f$  に関する定積分であり、

関数  $C_i(f)$  と  $i$  番目符号以外の任意の  $j$  番目符号の関数  $C_j(f)$  及びこの関数  $C_j(f)$  の反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立し、

光ろ波手段及び光信号の強度を検出する強度検出器を少なくとも含み、

受信した光信号から、関数  $C_i(f)$  に基づき光強度周波数特性が  $C_i(f)$  の光信号の光強度と対応する第 1 強度信号と、

受信光信号から、反転関数  $(1 - C_i(f))$  に基づき光強度周波数特性が  $(1 - C_i(f))$  の光信号の光強度と対応する第2強度信号との差に応じた第1差信号を生成し、その第1差信号からデータ系列を再生する光受信装置とを備えることを特徴とする光符号を用いる光通信システム。

5 [2] (補正後) 請求項1のシステムにおいて、

周期  $PFR_i$  は関数  $C_i(f)$  に対応する整数  $N_i$  で光周波数幅  $FSR$  を除した光周波数幅であり、

10 光周波数幅  $FSR$  以下の任意の光周波数幅を関数  $C_i(f)$  の繰り返し周期  $PFR_i$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、 $2\pi(\Delta f / PFR_i)$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、

$i$  番目符号関数  $C_i(f)$  に対し、上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f + \Delta f)$  での関数を  $C_i'(f) (= C_i(f + \Delta f))$  とし、

関数  $C_{i'}(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_{i'}(f) \cdot C_j(f) df = \int C_{i'}(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立し、

- 5 上記符号器は、光ろ波周波数特性が少なくとも所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲で送信しうる各  $\Delta f$  の値に対応する関数  $C_{i'}(f)$  であるろ波手段からなり、

上記光送信装置は上記光符号信号として2値データ系列の各データごとに、その値に応じた  $\Delta f$  の値の関数  $C_{i'}(f)$  の光強度周波数特性をもつ光信号を少なくとも光周波数幅  $F_{SR}$  だけ送信する装置であり、

10 上記光受信装置において、受信した光信号から送信装置で送信しうる各  $\Delta f$  の値に対応する各関数  $C_{i'}(f)$  に基づき、光強度周波数特性が  $C_{i'}(f)$  の光信号の光強度と対応する上記第1強度信号と、各対応する反転関数  $(1 - C_{i'}(f))$  に基づき、光強度周波数特性が  $(1 - C_{i'}(f))$  の光信号の光強度と対応する上記第2強度信号との差に応じた上記各  $\Delta f$  の値に対応する上記各第1差信号からデータ系列を再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[3] (補正後) 請求項1のシステムにおいて、

20 周期  $P_{FRI}$  は関数  $C_i(f)$  に対応する整数  $N_i$  で光周波数幅  $F_{SR}$  を除した光周波数幅であり、

光周波数幅  $F_{SR}$  以下の光周波数幅を周期  $P_{FRI}$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、 $2\pi(\Delta f / P_{FRI})$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、位相差を  $\pi/2$  とし、

25  $i$  番目符号関数  $C_i(f)$  に対し、上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f + \Delta f)$  での関数を  $C_{i'}(f) (= C_i(f + \Delta f))$  とし、

関数  $C_{i'}(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_{i'}(f) \cdot C_j(f) df = \int C_{i'}(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立し、

上記符号器は光ろ波周波数特性が少なくとも所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲で  $i$  番目符号に対応する関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_i(f))$  の少なくとも一方であるろ波手段に加えて、 $C_{i'}(f)$  及び  $(1 - C_{i'}(f))$  の少なくとも一方、あるいは  $C_j(f)$  及び  $(1 - C_j(f))$  の少なくとも一方であるろ波手段からなる符号器であり、

光送信装置は2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列とに系列変換手段で分離し、その第1分離データ系列により上記光強度周波数特性が  $C_i(f)$  又は  $(1 - C_i(f))$  とされた第1光信号と、

第2分離データ系列の各データごとにその値に応じた関数  $C_{i'}(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_{i'}(f))$  の少なくとも一方又は関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_j(f))$  の少なくとも一方を光強度周波数特性とした、第2光信号とを合成した光信号を上記符号器よりの上記光符号信号として生成して出力する装置であり、

上記光受信装置は、受信した光信号から、関数  $C_{i'}(f)$  又は関数

$C_j(f)$ に基づき、光強度周波数特性が $C_{i'}(f)$ 又は $C_j(f)$ の光信号の光強度と対応する第3強度信号と、各対応する反転関数 $(1 - C_{i'}(f))$ 又は $(1 - C_j(f))$ に基づき、光強度周波数特性が $(1 - C_{i'}(f))$ 又は $(1 - C_j(f))$ の光信号の光強度の第4強度信号との間の差に応じた第2差信号を検出し、この第2差信号と上記第1差信号とから第1分離データ系列及び第2分離データ系列を再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[4] (補正後) 請求項3のシステムにおいて、

光送信装置は、その系列変換手段が入力2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列との他に、第3分離データ系列と第4分離データ系列とに分離する手段であり、

第1分離データ系列により上記光強度周波数特性が関数 $C_i(f)$ 又は $(1 - C_i(f))$ とされた第1光信号及び第2分離データ系列により上記光強度周波数特性が関数 $C_{i'}(f)$ 又は $(1 - C_{i'}(f))$ あるいは $C_j(f)$ 又は $(1 - C_j(f))$ とされた第2光信号をそれぞれ第3分離データ系列の各データごとの値及び第4分離データ系列の各データごとの値にそれぞれ応じた光強度に制御する振幅変化手段を含み、

光受信装置は上記第1差信号及び上記第2差信号をそれぞれデジタル値に変換し、これらデジタル値により第1分離データ系列、第2分離データ系列、第3分離データ系列、第4分離データ系列をそれぞれ再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[5] (補正後) 請求項1のシステムにおいて、

光送信装置には光周波数幅が少なくともFSRで、光強度周波数特性が $C_j(f)$ または $(1 - C_j(f))$ の光符号信号が受信入力され、

その受信光符号信号を、2値データ系列の各データごとに、その値に応じて、光強度周波数特性が $C_i(f)$ 、 $(1 - C_i(f))$ 又は零のいずれかを乗じて出力する装置であることを特徴とする光通信システム。

[6] (補正後) 請求項1～5のいずれかのシステムにおいて、周期 $PF R_i$ は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 $N_i$ で光周波数幅FSRを除した光周波数幅とし、関数 $C_i(f)$ と $C_j(f)$ は、異なる周期 $PF R_i$ と周期 $P$

$F R_j$  であるか又は周期  $P F R_i$  と周期  $P F R_j$  は同一値であり光周波数幅  $F S$   
 $R$  以下の光周波数幅を、関数  $C_i(f)$  の繰返し周期  $P F R_i$  で除した剰余を



$\Delta f$  とし、関数  $C_j(f)$  は関数  $C_i(f)$  との位相差  $2\pi(\Delta f / PFR_i)$  が2分の $\pi$ の  $C_i'(f)$  であり、関数  $C_i(f)$  が正弦関数を含む関数又は余弦関数を含む関数であることを特徴とする光通信システム。

[7] (補正後) 請求項1～5のいずれかのシステムにおいて、

- 5 関数  $C_i(f)$  に対応する任意の整数  $S_i$  と  $Q_i$  とに、整数2を乗じた値  $V = 2S_i \cdot Q_i$  で光周波数幅  $FSR$  を分割してチップとし、関数  $C_i(f)$  は連続する  $S_i$  個のチップを光強度1とし、それに続く  $S_i$  個のチップを光強度0とすることを  $Q_i$  回繰り返す、又はその光強度を1とする連続  $S_i$  個のチップの光周波数位置を、所定値つつ順次移動した関数であることを特徴とする光通信システム。
- 10 ム。

[8] (補正後) 請求項1～5のいずれかのシステムにおいて、

当該光通信システムは双方向通信システムであり、

- その少なくとも一方の側の光送信装置は、光ろ波周波数特性関数  $C_i(f)$  又は反転関数  $(1 - C_i(f))$  の少なくとも一方の符号化用光ろ波器よりなる符号器により光信号に対し光強度周波数特性を付与して光符号信号を生成する装置
- 15 であり、かつ光受信装置は、光ろ波周波数特性関数  $C_i'(f)$  及び  $(1 - C_i'(f))$  あるいは  $C_j(f)$  及び  $(1 - C_j(f))$  の各復号化用光ろ波器よりなる光ろ波手段により、光強度周波数特性が  $C_i'(f)$  又は  $(1 - C_i'(f))$  あるいは  $C_j(f)$  及び  $(1 - C_j(f))$  の光符号信号を受信光信号から分離する装置であり、ここで  $C_i'(f)$  は  $C_i(f)$  に対しその4分の1周期ずれた関数であり、
- 20

上記符号化用光ろ波器及び上記両復号化用光ろ波器が単一プレーナ光波回路基板上に構成され、

- 上記符号化用光ろ波器及び上記復号化用光ろ波器の一方の透過光信号の光強度を検出する強度検出手段と、
- 25

その検出された光強度が最大になるように、上記プレーナ光波回路基板の温度を制御する制御手段とが備えられていることを特徴とする光通信システム。

[9] (補正後) 請求項1～5のいずれかのシステムにおいて、

光受信装置は、

光符号信号の符号を構成するチップ毎に受信光信号をろ波手段により分波し、  
 これら分波した各光チップの光強度をチップ毎にチップ強度信号として強度検  
 出器で検出し、

5 入力受信光信号の伝送路における到着時間が異なる光チップの時間と対応し、  
 これらが同一到着時間となるような遅延を対応チップ強度信号に遅延時間付加器  
 で与え、これら到着時間が同一とされたチップ強度信号中の、関数  $C_i(f)$  が  
 1 に相当するチップの出力の総和から関数  $(1 - C_i(f))$  が 1 に相当するチ  
 ップ強度信号の総和を強度差検出器で減じて上記第 1 差信号を得る装置であるこ  
 とを特徴とする光通信システム。

10 [10] (補正後) 所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲で  
 光周波数幅  $F_{SR}$  の光信号を光源より出射し、

その光信号を光ろ波周波数特性が少なくとも所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の  
 光周波数  $F_{la}$  の範囲で  $i$  番目符号に対応する関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  
 $(1 - C_i(f))$  であるろ波手段の少なくとも一方からなる符号器に供し、 $i$  番  
 15 目の 2 値データ系列の各データごとに、その値に応じた、 $i$  番目符号の関数  $C_i$   
 $(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_i(f))$  の少なくとも一方を、光強度周波数特  
 性とした光符号信号を、所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲  
 で少なくとも光周波数幅  $F_{SR}$  分符号器より生成送信する光送信装置。ここで関  
 数  $C_i(f)$  は光周波数  $f$  を変数とし、 $C_i(f) = C_i(f + PFR_i)$  が成  
 20 立する周期関数であり、

所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において、光周波  
 数幅  $F_{SR}$  は各符号の関数中の繰り返し周期  $PFR_i$  の公倍数の光周波数幅であ  
 り、

関数  $C_i(f)$  の反転関数は、1 からこの関数  $C_i(f)$  を減じた関数であり  
 25 、

関数  $C_i(f)$  と、反転関数  $(1 - C_i(f))$  との間に  
 $\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$  の関係が  
 成立し、

$\int df$  は  $F_{st}$  から  $F_{la}$  までの任意の区間  $F_{SR}$  における  $f$  に関する定積分

であり、

関数  $C_i(f)$  と  $i$  番目符号以外の任意の  $j$  番目符号の関数  $C_j(f)$  及びこの関数  $C_j(f)$  の反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{ の関係が}$$

5 成立する。

[11] 請求項10の装置において、

互いに異なる関数の光強度周波数特性の光符号信号をそれぞれ生成出力する  $N$  個の符号器と、 $N$  は2以上の整数であり、

10 上記  $N$  個の光符号信号を合成して送信する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

[12] (補正後) 請求項10又は11の装置において、

1 から、符号数  $N$  を整数2で除した値  $N/2$  までの整数値を  $a$  とし、 $r$  を2の剰余とし、

関数  $C_i(f)$  は、

$$(1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / FSR + r \cdot \pi / 2)) / 2$$

であることを特徴とする光送信装置。

[13] (補正後) 請求項10又は11の装置において、

5 任意の整数  $R$  で光周波数幅  $FSR$  を分割してチップとし、

関数  $C_i(f)$  及び関数  $C_j(f)$  はそれぞれ “1” のチップと “-1” のチップとよりなることを特徴とする光送信装置。

[14] (補正後) 請求項10又は11の装置において、

10 各符号器は、それぞれその符号器に決められた符号関数の光強度周波数特性の第1光符号信号を生成する第1変調部と、第1変調部の関数の反転関数の光強度周波数特性の第2光符号信号を生成する第2変調部と、入力された2値データの一方で第1光符号信号及び第2光符号信号との少なくとも一方を、2値データの他方で上記第1光符号信号及び第2光符号信号の少なくとも他方を出力する切替器を備えることを特徴とする光送信装置。

15 [15] (補正後) 請求項10の装置において、

周期  $PFR_i$  は  $C_i(f)$  と対応する整数  $N_i$  で  $FSR$  を除した光周波数幅であり、

20 光周波数幅  $FSR$  以下の任意の光周波数幅を、関数  $C_i(f)$  の繰り返し周期  $PFR_i$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、 $2\pi(\Delta f / PFR_i)$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、

$i$  番目符号関数  $C_i(f)$  に対し、上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f + \Delta f)$  での関数を  $C_i'(f) (=C_i(f + \Delta f))$  とし、

関数  $C_i'(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

25  $\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立し、

上記符号器は、光周波数特性が少なくとも所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  の範囲で送信しうる各  $\Delta f$  の値に対応する関数  $C_i'(f)$  である波手段からなり、

上記 2 値データ系列の各データごとに、その値に応じた  $\Delta f$  の値の関数  $C_i'$  (f) の光強度周波数特性をもつ光信号を、上記光符号信号として少なくとも光周波数幅 FSR だけ送信する装置であり、

- 上記 2 値データ系列について、上記関係条件を満たす符号関数について、データごとにその値に応じた、位相  $\Delta f$  のみが異なる関数の一つを光強度周波数特性とした光符号信号を生成する符号変調部と、
- 5

これら符号変調部より光符号信号を合成して光符号信号として出力する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

[16] (補正後) 請求項10の装置において、

5 周期 $PFR_i$ は関数 $C_i(f)$ と対応する整数 $N_i$ で光周波数幅 $FSR$ を除いた光周波数幅であり、

光周波数幅 $FSR$ 以下の光周波数幅を周期 $PFR_i$ で除した剰余を $\Delta f$ とし、 $2\pi(\Delta f/PFR_i)$ を関数 $C_i(f)$ に対する位相差とし、

$i$ 番目の符号関数 $C_i(f)$ に対し、上記剰余 $\Delta f$ だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での関数を $C_i'(f)$  ( $=C_i(f + \Delta f)$ ) とし、

10 関数 $C_i'(f)$ と関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_j(f))$ との間に

$$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$$
の関係が成立し、

位相差を $\pi/2$ とし、

15 上記符号手段は光周波数特性が少なくとも所定の光周波数 $F_{st}$ から所定の光周波数 $F_{la}$ の範囲で $i$ 番目符号に対応する関数 $C_i(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_i(f))$ である光波手段に加えて、 $C_i'(f)$ 及び $(1 - C_i'(f))$ の少なくとも一方又は、 $C_j(f)$ 及び $(1 - C_j(f))$ の少なくとも一方である光波手段からなる符号器であり、

20 入力2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列に分離する系列変換部と、

第1分離データ系列の各データごとにその値に応じて上記光強度周波数特性が関数 $C_i(f)$ 又は $(1 - C_i(f))$ の第1光信号を生成する第1変調部と、

25 第2分離データ系列の各データごとにその値に応じた関数 $C_i'(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_i'(f))$ の少なくとも一方又は関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_j(f))$ の少なくとも一方を光強度周波数特性とした第2光信号を、生成する第2変調部と、

第1光信号と第2光信号を合成して上記光符号信号として出力する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

89/1

[17] (補正後) 請求項16の装置において、

系列変換部は入力2値データ系列を第1, 第2, 第3及び第4分離データ系列に分離する変換部であり、

5 上記第1光信号及び第2光信号をそれぞれ、第3分離データ系列及び第4分離データ系列の各データごとにその値にそれぞれ応じた光強度とする第3変調部及び第4変調部とを備え、

上記合成器は上記値に応じた光強度をそれぞれもつ第1光信号と第2光信号とを合成する合成器であることを

特徴とする光送信装置。

[18] (補正後) 請求項15～17のいずれかの装置において、

周期 $PFR_i$ は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 $N_i$ で光周波数幅 $FSR$ を除いた光周波数幅とし、関数 $C_i(f)$ と $C_j(f)$ は、異なる周期 $PFR_i$ と周期 $PFR_j$ であるか又は周期 $PFR_i$ と周期 $PFR_j$ は同一値であり $C_j(f)$ は関数 $C_i(f)$ の繰返し周期である $PFR_i$ で $FSR$ 以下の光周波数幅を除いた時の剰余を $\Delta f$ とし、関数 $C_i(f)$ との位相差 $2\pi(\Delta f/PFR_i)$ が2分の $\pi$ の $C_{i'}(f)$ であり、関数 $C_i(f)$ が正弦関数を含む関数あるいは余弦関数を含む関数であることを特徴とする光送信装置。

10 [19] (補正後) 請求項15～17のいずれかの装置において、

関数 $C_i(f)$ に対応する任意の整数 $S_i$ と $Q_i$ とに、整数2を乗じた値 $V=2S_i \cdot Q_i$ で光周波数幅 $FSR$ を分割してチップとし、関数 $C_i(f)$ は連続する $S_i$ 個のチップを光強度1とし、それに続く $S_i$ 個のチップを光強度0とすることを $Q_i$ 回繰り返す、又はその光強度を1とする連続 $S_i$ 個のチップの光周波数位置を所定値ずつ順次移動した関数であることを特徴とする光送信装置。

15 [20] (補正後) 請求項15～17のいずれかの装置において、

上記光源と、

上記光源よりの出力光信号を複数に分岐する光分岐器と、

20 分岐された光が入力され、符号関数が互いに異なる光ろ波周波数特性の光ろ波器と、

これら光ろ波器の透過光を合成して光符号信号として出力する光合成器と、

これら複数の光ろ波器と光分岐器又は光合成器との間に挿入され、複数のデータ系列の1つにより制御される符号変調手段を各データ系列ごとに備える光送信装置。

25 [21] (削除)



[22] (補正後) 少なくとも所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において関数に従った光強度周波数特性の光信号を透過するろ波手段と、光信号の光強度を検出する強度検出手段と、強度信号を加減算する手段とを備え、

- 5 受信光信号が入力され、関数  $C_i(f)$  に基づき光強度周波数特性が  $C_i(f)$  の光信号の光強度と対応する第1強度信号と、

受信光信号が入力され、反転関数  $(1 - C_i(f))$  に基づき光強度周波数特性が  $(1 - C_i(f))$  の光信号の光強度と対応する第2強度信号との差に応じたデータを再生することを特徴とする光受信装置。

- 10 ここで関数  $C_i(f)$  は  $C_i(f) = C_i(f + PFR_i)$  が成立する周期関数であり、関数  $C_i(f)$  の関数値が0から1の値をとり、

光周波数幅  $FSR$  は所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期  $PFR_i$  の公倍数の光周波数幅であり、

- 15 関数  $C_i(f)$  の反転関数は、1から関数  $C_i(f)$  を減じた関数  $(1 - C_i(f))$  であり、

関数  $C_i(f)$  と関数  $(1 - C_i(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$  の関係が成立し、

- 20  $\int df$  は  $F_{st}$  から  $F_{la}$  までの光周波数幅  $FSR$  の任意の区間における  $f$  に関する定積分であり、

関数  $C_i(f)$  と  $i$  番目符号以外の任意の  $j$  番目符号の関数  $C_j(f)$  及びこの関数  $C_j(f)$  の反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が

- 25 成立する。

[23] (補正後) 請求項22の装置において、

上記受信光信号は、直交性を満足する光強度周波数特性で符号化された複数の光符号信号であり、

受信光信号が入力され、受信光信号を複数に分配する分配器と、

91/1

分配器より分配された各受信光信号がそれぞれ入力され、光ろ波周波数特性が関数  $C_i(f)$  の第1ろ波器と、

第1ろ波器の出力が入力され、その光強度を第1強度信号として検出する第1強度検出器と、

受信光信号が入力され、光ろ波周波数特性が関数  $(1 - C_i(f))$  の第2ろ波器と、

5 第2ろ波器の出力が入力され、その光強度を第2強度信号として検出する第2強度検出器と、

第1強度信号及び第2強度信号が入力され、その一方から他方の差の強度に基づき2値データを再生する強度差検出器を備える複数の復号器とを具備する光受信装置。ただし複数の復号器間において関数  $C_i(f)$  及び  $(1 - C_i(f))$

10 は互いに異なる。

[24] (補正後) 請求項22又は23の装置において、

1から、符号数Nを整数2で除した値  $N/2$  までの整数値をaとし、rを2の剰余とし、関数  $C_i(f)$  は、

$$(1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / FSR + r \cdot \pi / 2)) / 2$$

15 であることを特徴とする光受信装置。

[25] (補正後) 請求項22又は23の装置において、

任意の整数Rで光周波数幅FSRを分割してチップとし、

関数  $C_i(f)$  及び関数  $C_j(f)$  はそれぞれ“1”のチップと“-1”のチップとよりなり、

20 受信光信号が入力され、その受信入力信号をチップごとに分割出力するろ波器と、

このろ波器の各チップごとの出力がそれぞれ入力され、そのチップごとの光強度と対応したチップ強度信号をそれぞれ検出する複数のチップ強度検出器と、

25 これら各チップ強度信号が入力され、関数  $C_i(f)$  の各“1”のチップと対応するチップ強度信号を正とし、関数  $(1 - C_i(f))$  の各“1”のチップと対応するチップ強度信号を負として全入力の総和に基づき2値データを出力する強度差検出器とを備えることを特徴とする光受信装置。

[26] (補正後) 請求項22の装置において、

$PF R_i$  は関数  $C_i(f)$  と対応する整数  $N_i$  でFSRを除した光周波数幅で

92/1

あり、

光周波数幅  $F S R$  以下の任意の光周波数幅を関数  $C_i(f)$  の繰り返し周期  $P F R_i$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、 $2\pi(\Delta f / P F R_i)$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、

- 5  $i$  番目符号関数  $C_i(f)$  に対し、上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f + \Delta f)$  での

関数を  $C_i'(f) (=C_i(f+\Delta f))$  とし、

関数  $C_i'(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1-C_j(f))$  との間に

5  $\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1-C_j(f)) df$  の関係が成立し、

受信光信号が入力され、相手送信装置が送信しうる各  $\Delta f$  の値に対応するろ波光周波数特性が関数  $C_i'(f)$  の各第1ろ波器と、受信光信号が入力され、上記各  $\Delta f$  の値に対応するろ波光周波数特性が関数  $(1-C_i'(f))$  の各第2ろ波器と、

10 第1ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第1強度信号を検出する第1強度検出器と、

第2ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第2強度信号を検出する第2強度検出器と、

15 第1強度信号と第2強度信号が入力され、これら間の差を求めて2値データ系列を再生出力する手段とを備える光信号受信装置。

[27] (補正後) 請求項22の装置において、

$PFR_i$  は  $C_i(f)$  と対応する整数  $N_i$  で光周波数幅  $FSR$  を除した光周波数幅であり、

20 光周波数幅  $FSR$  以下の任意の光周波数幅を関数  $C_i(f)$  の繰り返し周期  $PFR_i$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、 $2\pi(\Delta f/PFR_i)$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、

$i$  番目符号関数  $C_i(f)$  に対し、上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f+\Delta f)$  の関数を  $C_i'(f) (=C_i(f+\Delta f))$  とし、位相差を  $\pi/2$  とし、

25 関数  $C_i'(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1-C_j(f))$  との間に

$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1-C_j(f)) df$  の関係が成立し、

受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数  $C_i(f)$  の第1ろ波器と、受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数  $(1-C_i(f))$  の第2ろ

波器と、

第 1 ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第 1 強度信号を検出する第 1 強度検出器と、

第 2 ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第 2 強度信号を検出する第 2 強度検出器と、

5 受信光信号が入力され、ろ波周波数特性が関数  $C_{i'}(f)$  又は  $C_j(f)$  の第 3 ろ波器と

受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数  $(1 - C_i'(f))$  又は  $(1 - C_j(f))$  の第4ろ波器と、

第3ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第3強度信号を検  
5 出する第3強度検出器と、

第4ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第4強度信号を検  
出する第4強度検出器と、

第1強度信号と第2強度信号が入力され、これらの差を第1差信号として出力  
する第1減算器と、

10 第3強度信号と第4強度信号が入力され、これらの差を第2差信号として出力  
する第2減算器と、

第1差信号と第2差信号が入力され、2値データ系列を出力するデータ生成手  
段とを備えることを特徴とする光受信装置。

[28] 請求項27の装置において、

15 データ生成手段は、第1差信号を第1の2値データとし、第2差信号を第2の  
2値データとし、これら第1の2値データと第2の2値データを順次配列して上  
記2値データ系列とする手段であることを特徴とする光受信装置。

[29] 請求項27の装置において、

20 データ生成手段は第1差信号を第1デジタル値に変換する第1A/D変換器  
と、

第2差信号を第2デジタル値に変換する第2A/D変換器と、

第1デジタル信号と第2デジタル信号が入力され、これらの各デジタル  
値の組み合わせについてあらかじめ決めた4個以上のデータ0又はデータ1の組  
み合わせ中の対応する1つを出力する2値系列手段とを備えることを特徴とする  
25 光受信装置。

[30] (補正後) 請求項26～29のいずれかの装置において、

関数  $C_i(f)$  と  $C_j(f)$  は、異なる周期  $PFR_i$  と周期  $PFR_j$  であるか  
又は周期  $PFR_i$  と周期  $PFR_j$  は同一値であり、 $C_j(f)$  は関数  $C_i(f)$   
の繰返し周期である  $PFR_i$

で  $F S R$  以下の周波数幅を除いた時の剰余を  $\Delta f$  とし、関数  $C_i(f)$  に対し位相差  $2\pi(\Delta f / P F R_i)$  が 2 分の  $\pi$  の関数  $C_i'(f) (= C_i(f \pm \pi / 2))$  であることを特徴とする光受信装置。

[31] (補正後)

5 請求項 26～29 のいずれかの装置において、

関数  $C_i(f)$  に対応する任意の整数  $S_i$  と  $Q_i$  に、整数 2 を乗じた値  $V = 2 S_i \cdot Q_i$  で光周波数幅  $F S R$  を分割してチップとし、

関数  $C_i(f)$  及び関数  $C_j(f)$  はそれぞれ “1” のチップと “-1” のチップとよりなり、

10 受信光信号が入力され、その受信入力信号をチップごとに分割出力するろ波器と、

このろ波器の各チップごとの出力がそれぞれ入力され、そのチップごとの光強度と対応したチップ強度信号をそれぞれ検出する複数のチップ強度検出器と、

15 これら各チップ強度信号が入力され、関数  $C_i(f)$  の各 “1” のチップと対応するチップ強度信号を正とし、関数  $(1 - C_i(f))$  の各 “1” のチップと対応するチップ強度信号を負として全入力の総和に基づき 2 値データを出力する強度差検出器とを備えることを特徴とする光受信装置。

20 [32] (補正後) 受信光信号と、2 値データ系列が入力され、その受信光信号に対し光強度周波数特性を光周波数  $f$  を変数とする関数に変調して送信する反射型光通信装置において、

所定の光周波数  $F s t$  から所定の光周波数  $F l a$  の範囲において少なくとも光周波数幅  $F S R$  の光周波数幅の受信光信号が入力され、光ろ波周波数特性が上記光周波数範囲において第 1 関数  $C_i(f)$  の光ろ波手段によりろ波した光信号を出力する符号器と、

25 受信光信号が入力され、光ろ波周波数特性が上記光周波数範囲において反転関数  $(1 - C_i(f))$  の光ろ波手段によりろ波した反転光信号を出力する反転符号器と、

各データの値に応じて上記符号器の出力光信号と上記反転符号器の反転光信号を選択合波して光符号信号として送信する選択合波手段とを備える反射型光通信



装置。

ここで関数  $C_i(f)$  は  $C_i(f) = C_i(f + PFR_i)$  が成立する周期関数であり、関数  $C_i(f)$  の関数値が 0 から 1 の値をとり、

5 光周波数幅  $FSR$  は所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期  $PFR_i$  の公倍数の光周波数幅であり、

関数  $C_i(f)$  の反転関数は、1 からこの関数  $C_i(f)$  を減じた関数  $(1 - C_i(f))$  であり、

関数  $C_i(f)$  と関数  $(1 - C_i(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$  の関係が成立し、

$\int df$  は  $F_{st}$  から  $F_{la}$  までの任意の区間  $FSR$  における  $f$  に関する定積分であり、

- 5 関数  $C_i(f)$  と  $i$  番目符号以外の任意の  $j$  番目符号の関数  $C_j(f)$  及びこの関数  $C_j(f)$  の反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立する。

[33] 請求項32の装置において、

- 10 受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数  $C_j(f)$  の復号器と、  
受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数  $(1 - C_j(f))$  の反転復号器と、

復号器の出力光が入力され、その光強度に応じた強度信号を出力する第1光検出器と、

- 15 反転復号器の出力光が入力され、その光強度に応じた反転強度信号を出力する反転光検出器と、

強度信号及び反転強度信号が入力され、これらのレベル差が所定値以上のものについてその差に応じて2値データの一方を出力する比較器とを備えることを特徴とする反射型通信装置。

- 20 [34] (補正後) 請求項33の装置において、

選択合波手段は、受信光信号をそれぞれ全反射する全反射器及び反転全反射器と、符号器と全反射器との間及び反転符号器と反転全反射器との間にそれぞれ挿入され、入力データの値に応じて光信号及び反転光信号のいずれかを選択する選択器及び反転選択器とを備えることを特徴とする反射型光通信装置。

- 25 [35] 請求項33の装置において、

光検出器及び反転光検出器として、入力光信号を光増幅して出力すると共に入力光信号の光強度に応じた強度信号を出力する光増幅器が用いられ、

上記光検出器及び上記反転光検出器の各増幅光信号を合波して上記受信光信号として符号器及び反転符号器に入力する光合波器を備えることを特徴とする反射

型光通信装置。

[ 3 6 ] 請求項 3 3 の装置において、  
上記光信号と反転光信号を入力データの値に応じて選択する切替器と、

その切替器の出力が入力され、その出力を2分岐してその一方を復号器及び反転復号器に入力する光合分波器と、

上記光合分波器の他方の分岐光が入力され、これを全反射する全反射器とを備えることを特徴とする反射型光通信装置。

5 [37] 請求項33の装置において、

光信号と反転光信号を入力データの値に応じて選択する切替器と、

上記切替器の出力光が入力され、その一部を反射し、残りを復号器及び反転復号器へ入力する一部反射器とを備えることを特徴とする反射型光通信装置。

[38] (補正後) 請求項33～37のいずれかの装置において、

10 周期 $PFR_i$ は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 $Q_i$ で光周波数幅 $FSR$ を除いた光周波数幅とし、関数 $C_i(f)$ の繰返し周期である $PFR_i$ で $FSR$ 以下の光周波数幅を除いた時の剰余を $\Delta f$ とし、関数 $C_i(f)$ と $C_j(f)$ は、異なる周期 $PFR_i$ と周期 $PFR_j$ であるか又は周期 $PFR_i$ と周期 $PFR_j$ は同一値であり $C_j(f)$ は関数 $C_i(f)$ との位相差 $2\pi(\Delta f/PFR_i)$ が2分の $\pi$ の $C_i'(f)$ であり、関数 $C_i(f)$ が三角関数であり、

15 符号器と反転符号器は出力符号器として一体化され、復号器と反転復号器は入力復号器として一体化されていることを特徴とする反射型光通信装置。

[39] (補正後) 請求項33～37のいずれかの装置において、

20 関数 $C_j(f)$ に対応する任意の整数 $S_i$ と $Q_i$ とに、整数2を乗じた値 $V=2S_i \cdot Q_i$ で光周波数幅 $FSR$ を分割してチップとし、関数 $C_i(f)$ は連続する $S_i$ 個のチップを光強度1とし、それに続く $S_i$ 個のチップを光強度0とすることを $Q_i$ 回繰り返す、又はその光強度を1とする連続 $S_i$ 個のチップの光周波数位置を、所定値ずつ順次移動した関数であり、

25 符号器と反転符号器は出力符号器として一体化され、復号器と反転復号器は入力復号器として一体化されていることを特徴とする反射型光通信装置。

[40] (追加) 所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲内で光周波数幅  $F_{SR}$  を、自然数  $M$  と 3 以上の整数  $U$  で除した単位光周波数幅をチップ幅とし、 $MU = V$  のチップに対応する光周波数の光信号を出力する複数の光源と、

- 5 光源を駆動する駆動信号を発生する駆動信号発生器と、  
 上記複数の光源の出力光を合成して光符号信号として出力する光合成器と、  
 複数の光源と駆動信号発生器又は光合成器との間に挿入され、 $i$  番目の 2 値データ系列の各データにより制御され、上記光符号信号として、その光強度周波数特性が、 $i$  番目の符号関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_i(f))$  の少なくとも一方とする符号変調手段とを具備する光送信装置と、

10 ここで光周波数幅  $F_{SR}$  は所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期  $PFR_i$  の公倍数の光周波数幅であり、

関数  $C_i(f)$  の反転関数は、1 からこの関数  $C_i(f)$  を減じた関数であり

15 、

関数  $C_i(f)$  と、反転関数  $(1 - C_i(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$  の関係が成立し、

20  $\int df$  は  $F_{st}$  から  $F_{la}$  までの任意の区間  $F_{SR}$  における  $f$  に関する定積分であり、

関数  $C_i(f)$  と  $i$  番目符号以外の任意の  $j$  番目符号の関数  $C_j(f)$  及びこの関数  $C_j(f)$  の反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立し、

25 光ろ波手段及び光信号の強度を検出する強度検出器を少なくとも含み、

受信した光信号から、光強度周波数特性が  $C_i(f)$  の光信号の光強度と対応する第 1 強度信号と、

受信光信号から、光強度周波数特性が  $(1 - C_i(f))$  の光信号の光強度と対応する第 2 強度信号との差に応じた第 1 差信号を生成し、その第 1 差信号から

データ系列を再生する光受信装置とを備えることを特徴とする光符号を用いる光通信システム。

[41] (追加) 請求項40のシステムにおいて、

関数  $C_i(f)$  の周期  $PFR_i$  のチップ数  $P_i$  は関数  $C_i(f)$  に対応する整数  $N_i$  で光周波数幅  $FSR$  のチップ  $V$  を除した光周波数幅のチップ数であり、

$V$  以下の任意のチップ数を関数  $C_i(f)$  の繰り返し周期  $PFR_i$  のチップ数  $P_i$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、 $2\pi(\Delta f/P_i)$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、

$i$  番目符号関数  $C_i(f)$  に対し、上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f + \Delta f)$  での関数を  $C_i'(f)$  ( $=C_i(f + \Delta f)$ ) とし、

関数  $C_i'(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立し、

上記符号変調手段による制御は、光符号信号としてその光強度周波数特性が送信しうる各  $\Delta f$  の値に対応する関数  $C_i'(f)$  となる制御であり、

上記光送信装置は上記光符号信号として2値データ系列の各データごとに、その値に応じた  $\Delta f$  の値の関数  $C_i'(f)$  の光強度周波数特性をもつ光信号を少なくとも光周波数幅  $FSR$  だけ送信する装置であり、

上記光受信装置において、受信した光信号から送信装置で送信しうる各  $\Delta f$  の値に対応する各関数  $C_i'(f)$  に基づき、光強度周波数特性が  $C_i'(f)$  の光信号の光強度と対応する上記第1強度信号と、各対応する反転関数  $(1 - C_i'(f))$  に基づき、光強度周波数特性が  $(1 - C_i'(f))$  の光信号の光強度と対応する上記第2強度信号との差に応じた上記各  $\Delta f$  の値に対応する上記各第1差信号からデータ系列を再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[42] (追加) 請求項40のシステムにおいて、

関数  $C_i(f)$  の周期  $PFR_i$  のチップ数  $P_i$  は関数  $C_i(f)$  に対応する整数  $N_i$  で光周波数幅  $FSR$  のチップ  $V$  を除した光周波数幅のチップ数であり、

V以下のチップ数を関数 $C_i(f)$ の繰り返し周期 $PFR_i$ のチップ数 $P_i$ で除した剰余を $\Delta f$ とし、 $2\pi(\Delta f/P_i)$ を関数 $C_i(f)$ に対する位相差とし、位相差を $\pi/2$ とし、

5  $i$ 番目符号関数 $C_i(f)$ に対し、上記剰余 $\Delta f$ だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での関数を $C_i'(f)$  ( $=C_i(f + \Delta f)$ ) とし、

関数 $C_i'(f)$ と関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_j(f))$ との間に

$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$ の関係が成立し、

10 上記符号変調手段は関数に応じて各チップを第1レベルか0レベルかに選択的に制御する手段であり、

上記符号変調手段は $i$ 番目符号に対応する関数 $C_i(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_i(f))$ の少なくとも一方を光強度周波数特性とする第1光信号に加えて $C_i'(f)$ 及び $(1 - C_i'(f))$ の少なくとも一方又は $C_j(f)$ 及び $(1 - C_j(f))$ の少なくとも一方を光強度特性とした第2光信号を生成する手段であり、

光送信装置は2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列とに系列変換手段で分離し、その第1分離データ系列により上記光強度周波数特性が $C_i(f)$ 又は $(1 - C_i(f))$ とされた第1光信号と、

20 第2分離データ系列の各データごとにその値に応じた関数 $C_i'(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_i'(f))$ の少なくとも一方又は関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_j(f))$ の少なくとも一方とされた光強度周波数特性の、第2光信号とを合成した光信号を上記光符号信号として出力する装置であり、

上記光受信装置は、受信した光信号から、関数 $C_i'(f)$ 又は関数 $C_j(f)$ に基づき、光強度周波数特性が $C_i'(f)$ 又は $C_j(f)$ の光信号の光強度と対応する第3強度信号と、各対応する反転関数 $(1 - C_i'(f))$ 又は $(1 - C_j(f))$ に基づき光強度周波数特性が $(1 - C_i'(f))$ 又は $(1 - C_j(f))$ の光信号の光強度と対応する第4強度信号間との差に応じた第2差信号を検出し、この第2差信号と上記第1差信号とから第1分離データ系列及び第2

分離データ系列を再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[43] (追加) 請求項42のシステムにおいて、

光送信装置はその系列変換手段が入力2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列との他に、第3分離データ系列と第4分離データ系列とに分離する手段であり、

上記符号変調手段は第1分離データ系列により上記光強度周波数特性が関数  $C_i(f)$  又は  $(1 - C_i(f))$  とされた第1光信号及び第2分離データ系列により上記光強度周波数特性が関数  $C_{i'}(f)$  又は  $(1 - C_{i'}(f))$  あるいは  $C_j(f)$  又は  $(1 - C_j(f))$  とされた第2光信号を、それぞれ第3分離データ系列の各データごとの値及び第4分離データ系列の各データごとの値にそれぞれ応じた光強度に制御する振幅変化手段を含み、

光受信装置は上記第1差信号及び上記第2差信号をそれぞれディジタル値に変換し、これらディジタル値により第1分離データ系列、第2分離データ系列、第3分離データ系列、第4分離データ系列をそれぞれ再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[44] (追加) 請求項40～43のいずれかのシステムにおいて、

光周波数幅  $FSR$  を分割するチップ数  $V$  は関数  $C_i(f)$  に対応する任意の整数  $S_i$  と  $Q_i$  とに、整数2を乗じた値  $2S_i \cdot Q_i$  であり、関数  $C_i(f)$  は連続する  $S_i$  個のチップを光強度1とし、それに続く  $S_i$  個のチップを光強度0とすることを  $Q_i$  回繰り返す、又はその光強度を1とする連続  $S_i$  個のチップの光周波数位置を、所定値ずつ順次移動した関数であることを特徴とする光通信システム。

[45] (追加) 請求項40～43のいずれかのシステムにおいて、

光受信装置は、

光符号信号の符号を構成するチップ毎に受信光信号をろ波手段により分波し、これら分波した各光チップの光強度をチップ毎にチップ強度信号として強度検出器で検出し、

入力受信光信号の伝送路における到着時間が異なる光チップの時間と対応し、



これらが同一到着時間となるような遅延を対応チップ強度信号に遅延時間付加器で与え、これら到着時間が同一とされたチップ強度信号中の、関数  $C_i(f)$  が 1 に相当するチップの出力の総和から関数  $(1 - C_i(f))$  が 1 に相当するチップ強度信号の総和を強度差検出器で減じて上記第 1 差信号を得る装置であることを特徴とする光通信システム。

[46] (追加) 所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの光周波数幅  $F_{SR}$  を、自然数  $M$  と 3 以上の整数  $U$  で除した単位光周波数幅をチップ幅とし、 $MU = V$  のチップに対応する光周波数の光信号を出力する複数の光源と、光源を駆動する駆動信号を発生する駆動信号発生器と、

上記複数の光源の出力光を合成して光符号信号として出力する光合成器と、複数の光源と駆動信号発生器又は光合成器との間に挿入され、 $i$  番目の 2 値データ系列の各データにより制御され、上記光符号信号として、その光強度周波数特性が、 $i$  番目の符号関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_i(f))$  の少なくとも一方とする符号変調手段とを具備する光送信装置。

ここで光周波数幅  $F_{SR}$  は所定の光周波数  $F_{st}$  から所定の光周波数  $F_{la}$  までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期  $P_{FRi}$  の公倍数の光周波数幅であり、

関数  $C_i(f)$  の反転関数は、1 からこの関数  $C_i(f)$  を減じた関数であり、

関数  $C_i(f)$  と、反転関数  $(1 - C_i(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$  の関係が成立し、

$\int df$  は  $F_{st}$  から  $F_{la}$  までの任意の区間  $F_{SR}$  における  $f$  に関する定積分であり、

関数  $C_i(f)$  と  $i$  番目符号以外の任意の  $j$  番目符号の関数  $C_j(f)$  及びこの関数  $C_j(f)$  の反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立する。

[47] (追加) 請求項 46 の装置において、

互いに異なる関数の光強度周波数特性の光符号信号をそれぞれ生成出力するN組の光源と駆動信号発生器と符号変調手段と、Nは2以上の整数であり、

上記N組の光符号信号を合成して送信する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

- 5 [48] (追加) 請求項46又は47の装置において、

関数 $C_i(f)$ 及び関数 $C_j(f)$ はそれぞれ“1”のチップと“-1”のチップとよりなることを特徴とする光送信装置。

- [49] (追加) 請求項46又は47の装置において、

- 10 各符号変調手段は、それぞれその符号変調手段に決められた符号関数の光強度周波数特性の第1光符号信号を生成する第1変調部と、第1変調部の関数の反転関数の光強度周波数特性の第2光符号信号を生成する第2変調部と、入力された2値データの一方で第1光符号信号及び第2光符号信号との少なくとも一方を、2値データの他方で上記第1光符号信号及び第2光符号信号の少なくとも他方を出力する切替器を備えることを特徴とする光送信装置。

- 15 [50] (追加) 請求項46の装置において、

$C_i(f)$ の周期 $PFRI$ のチップ数 $P_i$ は $C_i(f)$ と対応する整数 $N_i$ で $FSR$ のチップ数 $V$ を除した光周波数幅のチップ数であり、

- 20 チップ数 $V$ 以下の任意のチップ数を、関数 $C_i(f)$ の繰り返し周期のチップ数 $P_i$ で除した剰余を $\Delta f$ とし、 $2\pi(\Delta f/P_i)$ を関数 $C_j(f)$ に対する位相差とし、

$i$ 番目符号関数 $C_i(f)$ に対し、上記剰余 $\Delta f$ だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での関数を $C_i'(f)$  ( $=C_i(f + \Delta f)$ ) とし、

関数 $C_i'(f)$ と関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_j(f))$ との間に

- 25  $\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$ の関係が成立し、

上記符号変調手段による制御は、光符号信号としてその光強度周波数特性が送信しうる各 $\Delta f$ の値に対応する関数 $C_i'(f)$ となる制御であり、

上記2値データ系列の各データごとに、その値に応じた $\Delta f$ の値の関数 $C_i'$

(f) の光強度周波数特性をもつ光符号信号を、上記光符号信号として少なくとも光周波数幅 FSR だけ送信する装置であり、

上記 2 値データ系列について、上記関係条件を満たす符号関数について、データごとにその値に応じた、位相  $\Delta f$  のみが異なる関数の一つを光強度周波数特性とした光符号信号を生成する符号変調部と、

これら符号変調部より光符号信号を合成して光符号信号として出力する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

[51] (追加) 請求項 46 の装置において、

$C_i(f)$  の周期  $PF R_i$  のチップ数  $P_i$  は関数  $C_i(f)$  と対応する整数  $N_i$  で光周波数幅 FSR のチップ数  $V$  を除した光周波数幅のチップ数であり、

$V$  以下のチップ数を関数  $C_i(f)$  の繰り返し周期  $PF R_i$  のチップ数  $P_i$  で除した剰余を  $\Delta f$  とし、 $2\pi(\Delta f / P_i)$  を関数  $C_i(f)$  に対する位相差とし、

$i$  番目符号関数  $C_i(f)$  に対し、上記剰余  $\Delta f$  だけ異なる光周波数  $(f + \Delta f)$  での関数を  $C_i'(f) (=C_i(f + \Delta f))$  とし、

関数  $C_i'(f)$  と関数  $C_j(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_j(f))$  との間に

$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$  の関係が成立し、

位相差を  $\pi/2$  とし、

上記符号変調手段は、 $i$  番目符号に対応する関数  $C_i(f)$  及びその反転関数  $(1 - C_i(f))$  の少なくとも一方を光周波数特性とする第 1 光信号に加えて  $C_i'(f)$  及び  $(1 - C_i'(f))$  の少なくとも一方又は  $C_j(f)$  及び  $(1 - C_j(f))$  の少なくとも一方を光強度特性とした第 2 光信号で生成する手段であり、

入力 2 値データ系列を第 1 分離データ系列と第 2 分離データ系列に分離する系列変換部と、

第 1 分離データ系列の各データごとにその値に応じて上記光強度周波数特性が関数  $C_i(f)$  又は  $(1 - C_i(f))$  の第 1 光信号を生成する第 1 変調部と、

第2分離データ系列の各データごとにその値に応じた関数 $C_i'(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_i'(f))$ の少なくとも一方又は関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_j(f))$ の少なくとも一方を光強度周波数特性とした第2光信号を生成する第2変調部と、

- 5 第1光信号と第2光信号を合成して上記光符号信号として出力する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

[52] (追加) 請求項51の装置において、

系列変換部は入力2値データ系列を第1, 第2, 第3及び第4分離データ系列に分離する変換部であり、

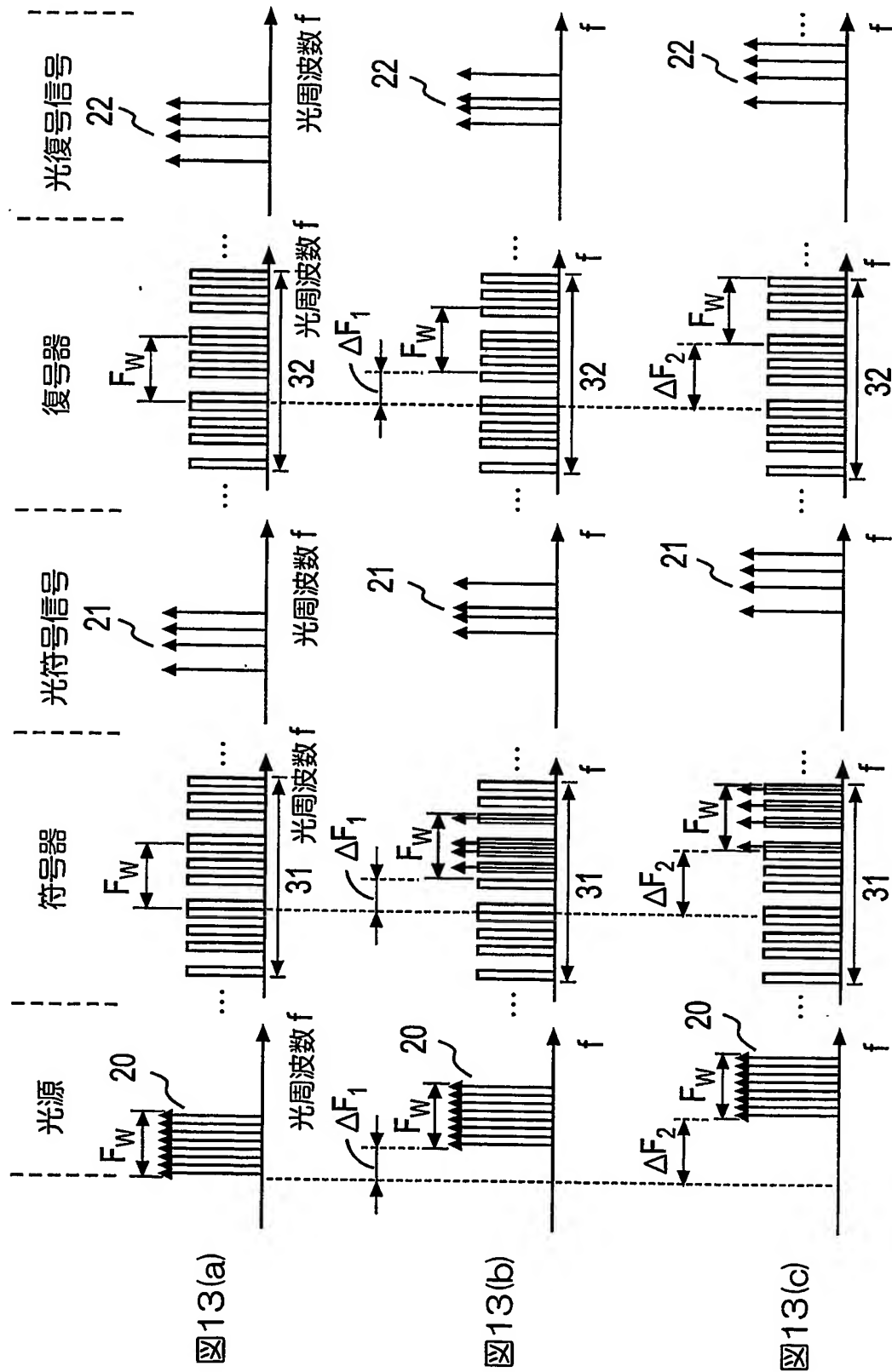
- 10 上記第1光信号及び第2光信号をそれぞれ、第3分離データ系列及び第4分離データ系列の各データごとにその値にそれぞれ応じた光強度とする第3変調部及び第4変調部とを備え、

上記合成器は上記値に応じた光強度をそれぞれもつ第1光信号と第2光信号とを合成する合成器であることを特徴とする光送信装置。

- 15 [53] (追加) 請求項50～52のいずれかの装置において、

光周波数幅FSRで分割するチップ数Vは関数 $C_i(f)$ に対応する任意の整数 $S_i$ と $Q_i$ とに、整数2を乗じた値 $2S_i \cdot Q_i$ であり、関数 $C_i(f)$ は連続する $S_i$ 個のチップを光強度1とし、それに続く $S_i$ 個のチップを光強度0とすることを $Q_i$ 回繰り返す、又はその光強度を1とする連続 $S_i$ 個のチップの光周波数位置を所定値ずつ順次移動した関数であることを特徴とする光送信装置。

20



12/59

図18

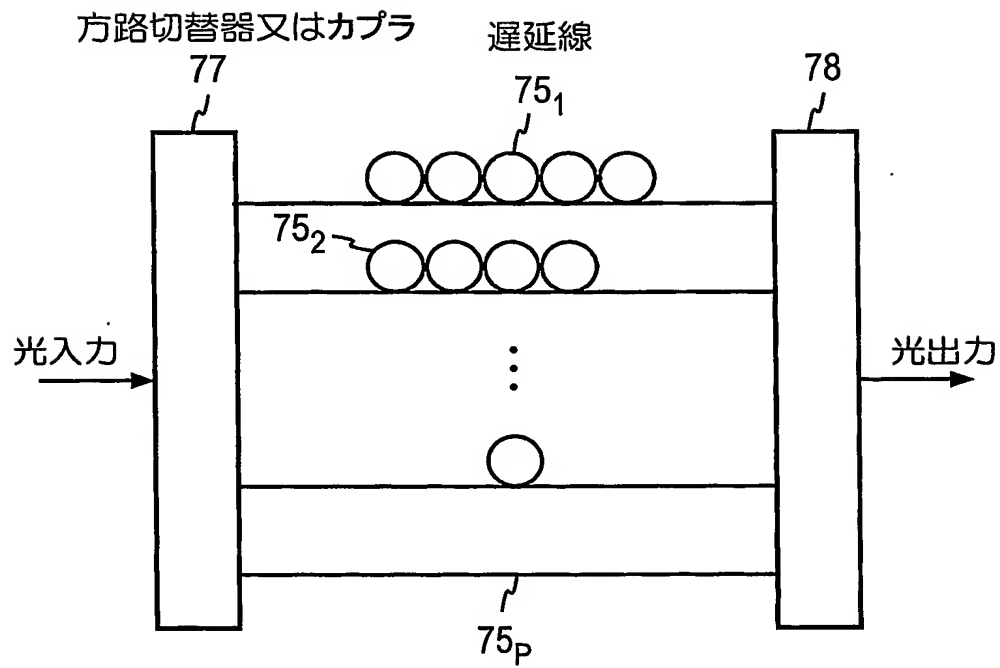
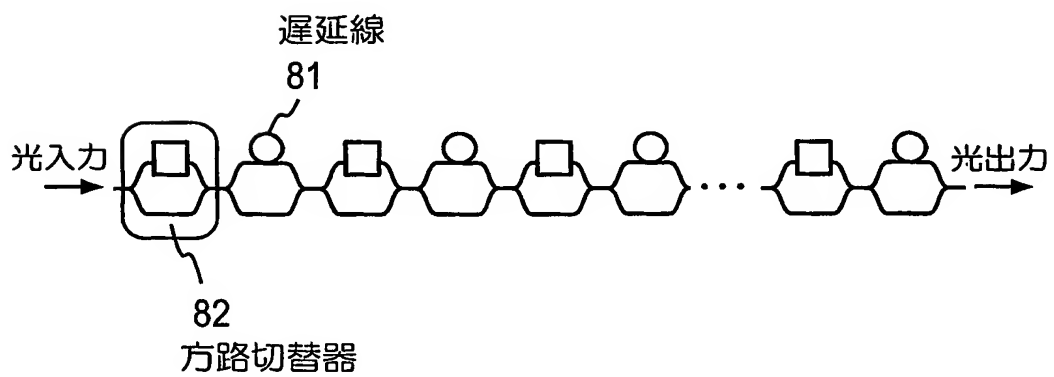
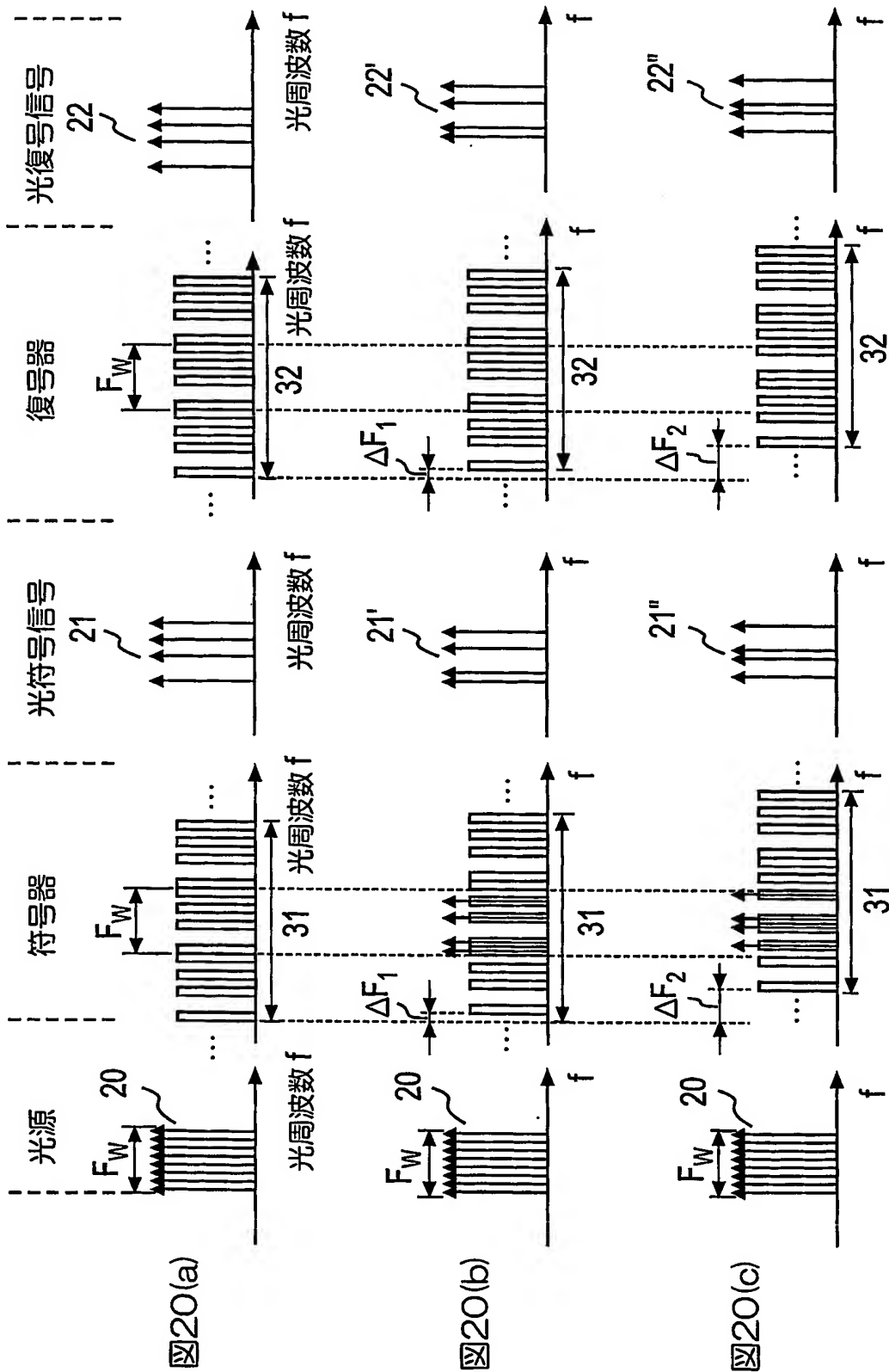


図19





19/59

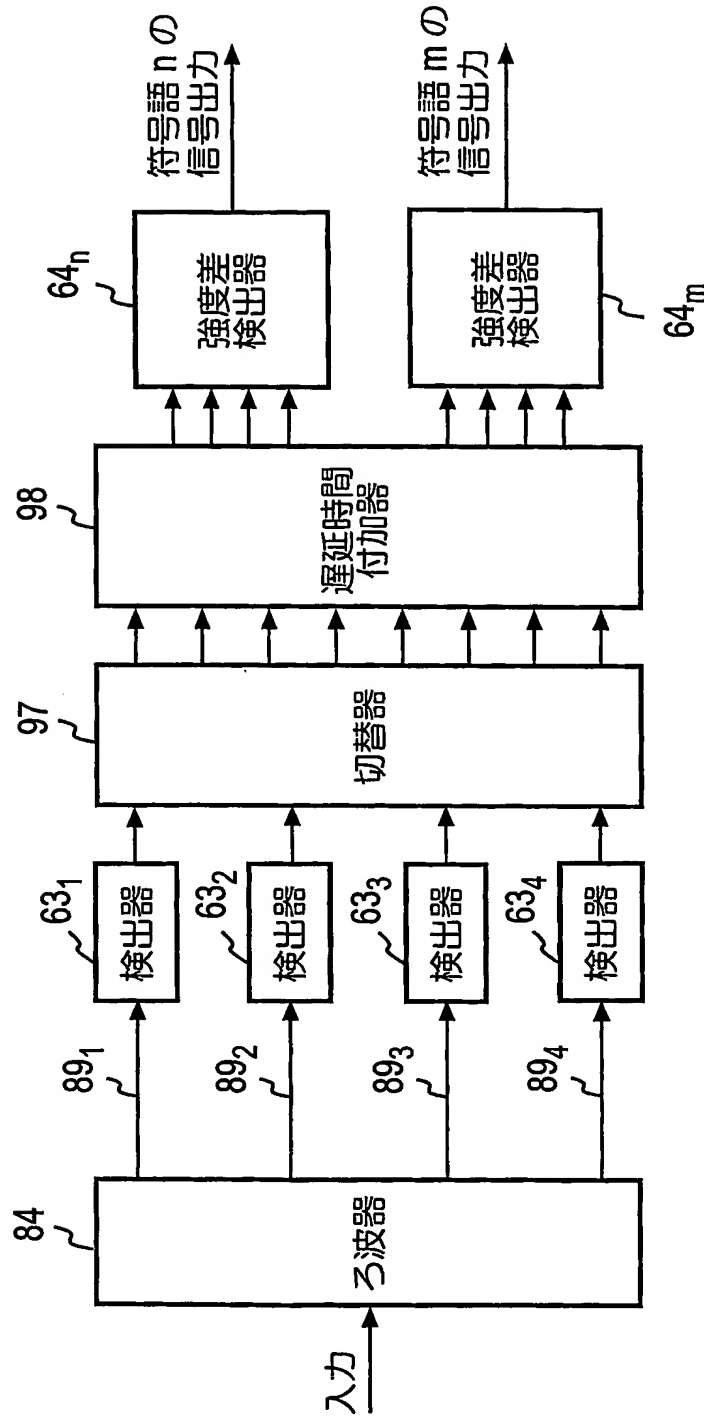


図27



59/59

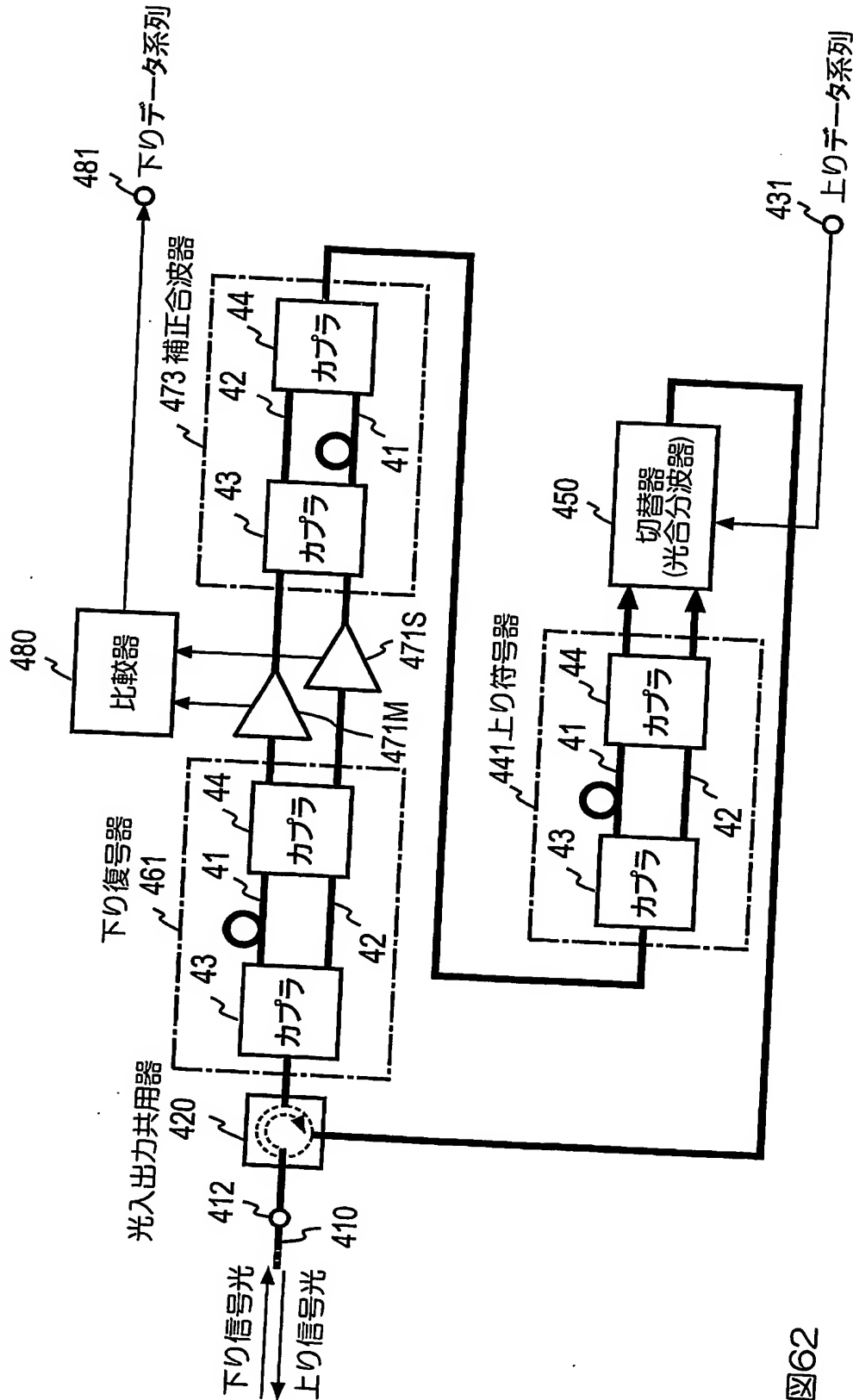


図62